



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

SANTERI HIRVONEN

SÄHKÖVERKKO-OMAISUUDEN KUNNONHALLINTASTRATEGI-  
AN KEHITTÄMINEN

Diplomityö

Tarkastaja: professori Pekka Verho  
Tarkastaja ja aihe hyväksytty Tieto-  
ja sähkötekniikan tiedekuntaneuvos-  
ton kokouksessa 31. Toukokuuta  
2017

## TIIVISTELMÄ

**SANTERI HIRVONEN:** Sähköverkko-omaisuuden kunnonhallintastrategian kehittäminen

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 55 sivua, 2 liitesivua

Marraskuu 2017

Sähkötekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Sähköverkot ja -markkinat

Tarkastaja: professori Pekka Verho

**Avainsanat:** kunnossapito, kuntoindeksi, kunnonhallinta, jakeluverkko

Nykyiset käytössä olevat sähkönjakeluverkot alkavat olla pääosin käyttöikänsä loppupäässä, joten tarve verkon uudelleenrakentamiselle ja kunnossapidolle alkaa kasvaa. Sähkömarkkinalain uudistuksen myötä myös sähkön toimitusvarmuuskriteereiden tiukentamisen johdosta tapahtuva laajamittainen maakaapelointi lisää verkon uudelleenrakentamisen tahtia edelleen. Koko verkkoa, mukaan lukien yksittäisiä haarajohtoja haja-asutusalueilla ei kuitenkaan ole liiketoiminnallisesti kannattavaa rakentaa uudelleen tai kaapeloida, jolloin kunnossapidon merkitys korostuu entisestään verkkoyhtiön toiminnassa, varsinkin näillä alueilla. Kunnossapito on taloudellisestikin kannattavaa, mutta sitä myös osittain ohjataan Suomessa viranomaisten toimesta.

Kunnossapidolla sähköverkon komponentteja pyritään pitämään riittävän toimintavarmana ja turvallisena ulkopuolisille osapuolille. Kunnossapidon rooli tulee ajankohtaiseksi myös uuden verkon osalta, jotta verkon elinkaarenhallintaa ja seuranta voidaan toteuttaa tehokkaasti uudesta asti. Sähköverkon tarkastukset toimivat koko kunnonhallintaprosessin pohjana. Tarkastuksilla kerätään tietoa ja havaintoja sähköverkon kunnosta, joiden perusteella kunnossapitotöitä suoritetaan.

Kunnossapidon riittävyttä ja sähköverkon komponenttien kunnon kehittymistä analysoitiin hyödyntämällä verkosta saatavilla olevaa kunnossapitoprosessin dataa. Tarkastelu perustuu nykyisten saatavilla olevien jakeluverkon kunnossapito- ja vikatietojen tarkasteluun ja analyysiin. Kunnonhallintastrategian kehittämiseen liittyen työssä määritellään käyttöönotettava, uusi kuntoindeksi-työkalu muokattuna Elenia Oy:n tarpeisiin. Johtopäätöksinä työssä todetaan verkon tietojen ja kunnossapitoprosessin dokumentoinnin olevan tärkeässä asemassa, jotta työn kaltaista tutkimustyötä voidaan tehokkaasti suorittaa. Käyttöönotettavan kuntoindeksi-työkalun käyttökohteita, mahdollisuuksia ja tulevaisuuden kehitystarpeita avataan lukijalle kattavasti.

## ABSTRACT

**SANTERI HIRVONEN:** Development of condition management strategy of network asset

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 55 pages, 2 Appendix pages

November 2017

Master's Degree Program in Electrical Engineering

Major: Power Systems and Market

Examiner: Professor Pekka Verho

**Keywords:** maintenance, condition index, condition management, distribution network

The electricity distribution networks that are currently in use are approaching the end of the life cycle so the pressure on rebuilding and maintaining the network will begin to rise. With the renewal of the Electricity Market Act and the tightening of the security of supply standards that led to large-scaled underground cabling also increases the volume of network rebuilding. However, the entire network, including individual branch lines in sparsely populated areas, is not commercially viable to rebuild. This increases the need for proper maintenance strategy, especially in those areas.

Maintenance acts is implemented to keep the individual components of the electrical network safe and secure to all parties. The role of maintenance will also be important with the new network so that lifecycle management and monitoring can be implemented more effectively from the start. Different inspections of the power grid work as a basis for the entire condition management process. Important information and observations is collected from the network so that proper maintenance tasks can be carried out.

The adequacy of maintenance and the development of the condition of the electrical network components were analysed by utilizing available maintenance data from the network. The review is based on the analysis of the maintenance and fault data of the existing available distribution network. In relation to the development of the management strategy, a new condition index -tool is defined based on the needs of Elenia Oy. Conclusions in the thesis state that the network information and the documentation of the maintenance process are important in order to effectively carry out research work such as this thesis. The applications, opportunities and future development needs of the usable condition index -tool will be also opened to the reader comprehensively.

## ALKUSANAT

Tämä diplomityö tehtiin Tampereella Elenia Oy:lle verkon käyttö- ja kehitys -yksikön kunnonhallinta-tiimissä vuoden 2017 aikana. Työn ohjaajana toimi Elenia Oy:n kunnonhallinta-tiimin esimies kunnonhallinta- ja turvallisuuspäällikkö Turo Ihonen. Tampereen teknillisen yliopiston puolesta työn tarkastajana toimi professori Pekka Verho sähkötekniikan laitokselta.

Haluan kiittää Turo Ihosta haasteellisen ja ajankohtaisen diplomityöaiheen tarjoamisesta, sekä rakentavasta ja asiantuntevasta ohjauksesta työn aikana. Kiitän myös kunnonhallinnan asiantuntijaa ja hyvää työkaveria Pauliina Salovaaraa, joka avusti suuresti työn määrittelyssä ja toteutuksessa koko diplomityön ajan. Professori Pekka Verholle haluan esittää myös kiitokset monissa tapaamisissa annettujen kommenttien, kehitystarpeiden ja ideoiden johdosta, sekä työn tarkastamisesta.

Tampereella, 20.11.2017

Santeri Hirvonen

## SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
2.	SÄHKÖVERKON KUNNOSSAPIDON TAUSTA .....	4
2.1	Sähkönjakeluverkon rakenne .....	4
2.2	Sähköturvallisuuslaki .....	6
2.3	Sähkömarkkinalaki .....	6
2.4	Viranomaisvalvonta .....	8
2.4.1	Valvontamenetelmä .....	8
2.4.2	Valvontajaksot .....	8
2.4.3	Kannustimet .....	9
3.	KUNNONHALLINTA .....	12
3.1	OmaisuuDENhallinta .....	12
3.1.1	Verkko-omaisuus .....	13
3.1.2	Laadukas omaisuuDENhallinta .....	13
3.1.3	OmaisuuDENhallinta Elenia Oy:ssä .....	14
3.2	Kunnossapito .....	14
3.2.1	Kunnossapitostrategiat .....	15
3.2.2	Kriittisyysluokittelu ja strategioiden soveltuvuus .....	17
3.2.3	Kunnossapidon käytännöt Eleniassa .....	19
3.3	Kunnonhallinnan tietojärjestelmät .....	20
4.	KUNTO- JA VIKATIE TOJEN ANALYSOINTI .....	22
4.1	Tietokannat osana kunnonhallintaa .....	22
4.2	Verkon ikäjakauma .....	23
4.3	Sähköverkon vikatieDOT .....	24
4.4	Komponenttien kuntohavainnot .....	25
4.4.1	Jakokaapit .....	26
4.4.2	Puistomuuntamot .....	31
4.4.3	KJ-pylväät .....	34
4.4.4	PJ-pylväät .....	39
5.	KUNTOINDEKSOINTI .....	41
5.1	Trimble NIS Kuntoindeksityökalu .....	41
5.2	Pisteytyksen ja luokittelun laatiminen .....	42
5.3	Komponenttien pisteytys .....	43
5.3.1	Jakokaapit .....	44
5.3.2	Puistomuuntamot .....	44
5.3.3	Pylväät .....	44
5.4	Kuntoindeksin käyttö .....	45
5.5	Ohjeistuksen laadinta .....	46
5.6	Hyödyt ja käyttökohteet .....	47
5.7	Jatkokehitys .....	50

6.	KUNNOSSAPITOPROSESSIN KEHITYS.....	51
7.	YHTEENVETO .....	53
8.	LÄHTEET.....	56
	LIITE 1: JAKOKAAPPIEN INDEKSIEN PISTEYTYYS .....	58

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

AJK	Aikajälleenkytkentä
AMKA	Pienjännitteisessä ilmajohtoverkossa käytetty alumiiniriippukierre kaapeli
CBM	<i>Condition Based Maintenance</i> , kuntoon perustuva kunnossapito
DMS	<i>Distribution Management System</i> , sähköverkkoyhtiön käyttämä käytöntukijärjestelmä
EV	Energiavirasto, ent. energiamarkkinavirasto
KJ	Keskijännitejärjestelmä, pääjännite 20 kilovoltia
KAH	Keskeytyksestä aiheutuva haitta. Sähkönkuluttajan kokema euro-määräinen haitta sähkönjakelun keskeytyksestä
NIS	<i>Network Information System</i> , sähköverkkoyhtiöiden käyttämä verk-kotietojärjestelmä
PJ	Pienjännitejärjestelmä, pääjännite 0,4 kilovoltia
PJK	Pikajälleenkytkentä
RBM	<i>Reliability Based Maintenance</i> , luotettavuuspohjainen kunnossapito
RM	<i>Reactive Maintenance</i> , reagoiva kunnossapito
Sener	Sähköenergialiitto ry
SFS	Suomen Standardisoimisliitto SFS ry
ST-kortisto	Sähkötieto ry:n julkaisema sähkötietokortisto määräysten ja stan-dardien mukaisiin toimintatapoihin ja ratkaisuihin
TBM	<i>Time Based Maintenance</i> , aikaan perustuva kunnossapito

# 1. JOHDANTO

Pääosa nykyisin käytössä olevasta sähköverkosta on rakennettu vuosikymmeniä sitten ja se alkaa monilta osin olla käyttöikänsä loppupäässä. Paine sähköverkon uudelleenrakentamiselle tulee käyttöiän loppumisesta ja 2013 uudistuneen sähkömarkkinalain myötä voimaan tulleista oleellisesti tiukentuneista toimitusvarmuuskriteereistä. Kunnossapidon rooli tulee korostumaan entistä enemmän sähköverkon omaisuudenhallintaprosessissa nykYTEknologian ja järjestelmien mahdollistaessa helpomman ja paremman dokumentoinnin ja kunnon seurannan. Kunnossapidon merkitys korostuu myös uuden käyttöönotettavan verkon elinkaarenhallinnassa. Tehokkaassa elinkaarenhallinnassa pyritään keräämään tietoa verkon alkutilanteesta mittauksin ja tarkastuksin. Jotta verkon elinkaarta voidaan tarkastella, tulee komponenteista kerätä luotettavaa ja riittävän tarkkaa tietoa jatkuvasti. Elinkaarenhallinta nousee isoksi tekijäksi myös sille osalle verkkoa, mitä ei sähköverkon maakaapelointien myötä uusita, ainakaan lähitulevaisuudessa. Sähköverkon kunnossapitoa Suomessa ohjataan laeilla ja määräyksillä suurpiirteisesti. Verkonhaltijoiden tulee itse määrittää tarkemmat kunnossapito-ohjelmat ja strategiat yhtiön liiketoiminnan, verkon tyypin ja verkko-omaisuuden mukaan.

Tämä diplomityö tehtiin sähköverkkoyhtiö Elenia Oy:lle (jatkossa Elenia), joka on suomen toiseksi suurin verkkoyhtiö palvellen yli 420 000 asiakasta sadan kunnan alueella. Elenian juuret ovat pienemmissä paikallisissa verkkoyhtiöissä, josta on vuosien saatossa muodostettu yksi isompi toimija.



Kuva 1. *Elenia Oy:n verkkoalue*



Elenian tavoitteena on olla palveluiden ja varman sähkönjakelun suunnannäyttävä Suomessa. Nyky-yhteiskunta on riippuvainen jatkuvasta sähköstä, ja sähkön toimitusvarmuudelta vaaditaan enemmän. Eleniassa otetaan huomioon asiakkaiden, sidosryhmien ja yhteiskunnan nykyiset ja tulevat tarpeet, jotka ovat avaintekijöitä verkon kehittämisessä ja operatiivisessa toiminnassa. Elenia tunnustetaan verkon suorituskyvystä, toimintavarmuudesta ja korkeasta laatuasteesta. Toimintaa ohjataan selkeällä omaisuudenhallintapolitiikalla, joka käsittää verkkohallinta-, liittymä-, vikapalvelu- sekä sähkönsiirto-prosessit, niihin liittyvät tekniset järjestelmät ja koko fyysisen verkko-omaisuuden. Kunnonhallinta lukeutuu mukaan yhtiön verkkohallintaprosessiin, joka vastaa sähköverkon toimitusvarmuuden ja sähkön laadun ylläpidosta. Prosessi huolehtii myös asianmukaisesta sähköverkon turvallisuudesta ja ympäristöseikoista. Kaikessa toiminnassa noudatetaan pohjimmaisena lakien ja säädösten vastuita ja velvoitteita. (Elenia, Omaisuudenhallintapolitiikka, 2014)

Työn taustana on pitkään muuttumattomana pysynyt sähköverkon kunnossapito ja Elenia Oy:n organisaatiomuutos, jossa kunnonhallinnan sekä verkko-omaisuuden elinkaarenhallinnan roolia korostetaan omalla kunnonhallinta-tiimillä. Sähköverkkojen kunnossapidon taustana ja lähtökohtana on entisen Sähkötieto ry:n julkaisemat sähkötietokortistot ohjaamaan ja opastamaan alan toimijoita. Aikaisemmin kunnossapidon prosessi oli hajautettu eri yksiköiden ja tiimien välillä, jokaisen hoitaessa osan kunnossapidon kokonaisuudesta. Nykyisin Elenia Oy:n kaikki kunnonhallintaan liittyvät suunnittelut ja tilaukset koko verkko-omaisuudelle hoidetaan keskitetysti yhdestä paikasta, jolloin prosessia voidaan johtaa ja kehittää entistä mallia tehokkaammin.

Verkon kunnossapidolla tarkoitetaan sähköverkon tarkastuksia, korjauksia ja puuston käsittelyä. Sähköverkkoa tarkastetaan systemaattisesti eri menetelmin jokaisella jännite-asteella, jolloin saadaan kattava kuva sähköverkon kunnosta ja sen vaatimista toimenpiteistä ennakoivasti taaten toimintavarmuuden ja turvallisuuden. Sähköverkon kunnossapitotoimenpiteet optimoidaan ottaen huomioon verkon kehittämisen ja ennakoivan toiminnan. Elenialla on käytössään alan yleistä suositusta tuplasti tiukempi laatustandardi, joka tarkoittaa pienempää sähkökatkojen määrää ja pienempiä haittoja. (Elenia, Sähkön laatu ja toimitusvarmuus)

Työn tavoitteina on tutkia ja analysoida Elenian nykyisen kunnossapito-ohjelman riittävyyttä jakeluverkon eri osille. Työssä käsitellään pien- ja keskijänniteverkkoa rajaamalla maakaapelit erikseen pois. Maakaapeleiden kunnonhallinnan ja tarkastusmittauksien kehittämiseen on meneillään kansallinen tutkimushanke. Kunnossapitoaineiston perusteella pyritään muokkaamaan yhtiön kunnonhallintastrategiaa ja jakeluverkon kunnossapito-ohjelmaa sekä arvioimaan ja tarkastelemaan onko nykyisin verkosta kerättävä data riittävää työn kaltaiseen tutkimukseen. Tavoitteena on myös ottaa käyttöön kunnonhallintaprosessiin uusi kuntoindeksi-työkalu, jolla verkon kuntoa ja kunnossapidon vaikutuksia pystyttäisiin seuraamaan nykyistä paremmin. Työkaluun liittyen määritellään yhtiön nykyisten jakeluverkon kuntotarkastusten mukaisesti komponenttikohtainen pis-

teytys ja luokittelu indeksiä varten. Työkalulla uudistetaan yhtiön kunnonhallintaprosessia tuomalla siihen uusia tavoitteita ja mittareita.

Työn alussa luvuissa kaksi ja kolme lukijalle avataan sähköverkkoyhtiöiden ja sähköverkkotoiminnan viranomaisvalvontaa ja taustalla vaikuttavia lakeja ja määräyksiä. Lisäksi käydään läpi edellä mainittujen vaikutusta sähköverkkojen kunnossapitoon ja sen rooliin sähköverkkoyhtiössä. Luvussa kolme käydään läpi myös Elenian kunnonhallintaprosessin olennaiset osat. Työn varsinainen tutkimusosuus alkaa luvussa neljä, jossa tarkastellaan Elenian verkko-omaisuuden nykyistä kunnossapitoa ja verkko-omaisuutta komponenttikohtaisesti työn rajauksen mukaisesti. Luvussa käsitellään jakeluverkon kunnossapito- ja vikatietojen analysointia sekä niistä tehtäviä johtopäätöksiä. Luvussa viisi käsitellään käyttöönotettava kuntoindeksi-työkalu ja siihen liittyvät toimenpiteet ja määrittelyt yhtiössä. Lukijalle selvitetään myös työkalun hyödyt ja käyttökohteet sekä jatkokehitys. Luvussa kuusi käydään läpi työn avulla saatuja ja ehdotettuja muutoksia yhtiön kunnonhallintastrategiaan ja -prosessiin. Yhteenvedossa arvioidaan tämän työn onnistumista ja esitellään työn tutkimusten perusteella ehdotettuja toimenpiteitä yhtiön toiminnassa. Luvussa käydään läpi olennaisimmat asiat tutkimustuloksista ja niiden hyödyntämistä operatiivisessa toiminnassa sekä näkymiä ja toimenpide-ehdotuksia katsottuna pidempään tulevaisuuteen. Työn aihepiiristä on tehty samankaltaisia tutkimuksia, keskittyen kuitenkin yhteen rajatumpaan aiheeseen. Muun muassa puupylväiden ikääntymismallia ja kunnossapidon taloudellista mallia on tutkittu, mutta kunnossapito-ohjelmaa ja sen riittävyyttä käytännössä tarkastelevaa tutkimusta ei kirjallisuudesta löytynyt.

## 2. SÄHKÖVERKON KUNNOSSAPIDON TAUSTA

Sähköverkon kunnossapito on osana verkko-omaisuuden riskien- ja kunnonhallinnan työkaluja. Kunnossapidon ensisijaisena tarkoituksen on pitää sähköverkko turvallisena kaikille osapuolille, taata verkon riittävä luotettavuus sähkönjakelulle ja minimoida verkoston kokonaiskustannuksia huomioiden keskeytyksistä aiheutuvat kustannukset pitkällä aikavälillä. Sähköverkkotoiminta on liiketoimintaa, joten kustannusten optimointi, eli verkon käyttökustannusten minimointi on aiheellista. Kunnossapitoon tulee kuitenkin sijoittaa riittävä määrä resursseja, koska liian vähäisellä panostuksella verkon keskeytyskustannukset nousevat ja jopa turvallisuus voi vaarantua. Liiallisella kunnossapidolla taas verkon käyttökustannukset kasvavat, joka ei liiketoiminnan kannalta ole suotavaa. (Lakervi & Partanen, 2009).

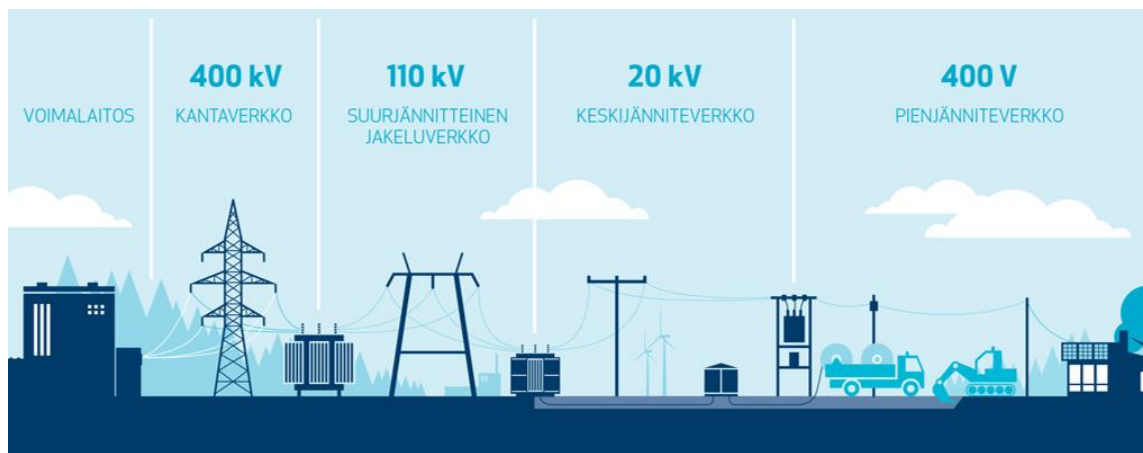
Kunnossapito on lähes aina taloudellisestikin kannattavaa toimintaa, mutta myös viranomaisten ja lain määräysten mukaan pakollista sähkölaitteistoille. Kunnossapitoon kuluetaan paljon rahaa, mutta siitä saatavia hyötyjä on erittäin vaikeaa mallintaa, joten kunnossapidon optimointi verkon eri osille ja komponenteille tuottaa usein haasteita. Sähköverkon kunnossapidon eräs ohjeistus on laadittu *Sähköenergialiitto ry Sener:in* toimesta Verkostosuositus-ohjeina sähköalalle, jotka ovat pitkään olleet sähköverkkoyhtiöiden kunnossapidon perustana. Tässä kappaleessa käsitellään sähköverkkoyhtiöiden toiminnan kannalta oleellisia lakeja ja säädöksiä. Lisäksi käydään läpi sähköverkkoyhtiöihin kohdistuvaa viranomaisvalvontaa ja sen vaikutusta operatiiviseen toimintaan.

### 2.1 Sähkönjakeluverkon rakenne

Sähköverkko koostuu valtakunnallisesta 110–400 kV jännitteisestä kantaverkosta, suurjännitteisestä 110 kV jakeluverkosta ja alle 110 kV jakeluverkosta. Kantaverkkoa hallinnoi sähkönjärjestelmävastuullinen kantaverkonhaltija Fingrid Oyj, jonka pääomistajana on Suomen valtio. Energiavirasto määrää vain yhden kantaverkon haltijan, joka hallinnoi järjestelmän selkärankaa eli kantaverkkoa. Jakeluverkkoa omistavia yhtiöitä eli sähkönjakeluverkon haltijoita Suomessa toimii yhteensä 92, joista 77 on jakeluverkon haltijoita, joilla omistuksessa on myös pienemmillä jännitetasoilla toimivia jakeluverkkoja. Vain suurjännitteistä jakeluverkkoa omistavia yhtiöitä on 13 eli sähkönjakeluverkon suurjännitteisen jakeluverkon haltijoita. Kahdella toimijalla on käytössään suljettu sähköverkko, joissa sähköenergiaa ei toimiteta ulkopuolisille kuluttajille. (Energiavirasto, Sähköverkon haltijat, 2017)

Koko järjestelmän rakenne koostuu tuotannosta/voimalaitoksista, kantaverkosta (400, 220 ja 110 kV), eri jännitteisistä jakeluverkoista (110, 20, 1, 0,4 kV) ja viimeisenä sähkön kuluttajista. Sähköverkon yksittäinen tärkein osa tai piste on sähköasema, jossa tyypillisesti suurjännitteisen jakelujohdon 110 kV jännite muunnetaan alempaan 20 kV keskijännitteeksi säteittäistä jakelua varten.

Sähköverkon primäärikomponenttien eli johtojen, muuntajien ja kytkinlaitteiden lisäksi järjestelmään kuuluu huomattava määrä niin sanottuja sekundäärilaitteita ja -järjestelmiä. Niitä ovat muun muassa suojalaitteet, apujännitejärjestelmät, verkon käyttöön, ohjaukseen, tiedonsiirtoon ja mittaukseen käytettävät laitteet ja järjestelmät, eli laitteet jotka eivät fyysisesti osallistu sähköenergian siirtoon, mutta ovat elintärkeä osa sähkönjakelujärjestelmää. (Lakervi & Partanen, 2009).



Kuva 2. Sähkövoimajärjestelmän rakennekuva. (Elenia, 2017).

Elenialla on omistuksessa jakeluverkkoja 110 kV voimalinjoista aina 0,4 kV pienjännitejakeluun ja sähkömittareihin asti. Elenialla on noin 12 % markkinaosuus Suomen sähkönjakelusta ja se palvelee noin 420 000 asiakasta. Sähköverkkoja Elenialla on tällä hetkellä seuraavasti:

- 110 kV - 0,4 kV jakeluverkot yhteensä n.	67000 km
- Sähköasemia	135 kpl
- Muuntamoita n.	24000 kpl
- Sähkömittareita n.	425000 kpl

Omaisuuksenhallintapolitiikan mukaan kunnossapidon toimenpiteet optimoidaan verkolle kokonaisuutena ottaen huomioon verkon kehittämissuunnitelmat ja ennakoivan toiminnan.

## 2.2 Sähköturvallisuuslaki

Sähköturvallisuuslaki on säädetty varmistamaan sähkölaitteiden ja -laitteistojen turvallinen käyttö, estää sähkömagneettisten häiriöiden ja haittojen haitalliset vaikutukset sekä turvata vahingoista kärsineiden oikeudet. Laissa lisäksi varmistetaan sähkölaitteiden vaatimustenmukaisuus Suomen markkinoille. Lakia sovelletaan Suomessa sähkölaitteisiin ja -laitteistoihin, joita voidaan käyttää sähkön tuottamiseen, siirtoon, jakeluun tai käyttöön. Laki koskee kaikkia laitteita joiden käytössä on mahdollisuus sähköiseen tai sähkömagneettiseen vahinkoon tai häiriöön. Lakia sovelletaan täten myös soveltavasti radiolaitteisiin ja viestintäverkkoihin. (Sähköturvallisuuslaki, 2016).

Sähköverkot kuuluvat sähköturvallisuuslain mukaisesti luokan 3 sähkölaitteistoihin, joita ovat verkonhaltijan jakelu-, siirto- ja muu vastaava sähköverkko. Luokan 3 sähkölaitteistoille on lain mukaan laadittava kunnossapito-ohjelma, jolla ylläpidetään sähköturvallisuutta (Sähköturvallisuuslaki, 2016). Kunnossapito-ohjelmassa tulee riittävällä tasolla olla huolehdittuna verkon eri osat ja niille tehtävät toimet. Sähköverkkoyhtiön huolto- ja kunnossapito-ohjelmien toteutuminen ja niiden seuranta on ensisijaisesti käytönjohtajan valvottavissa.

Luokan 3 sähkölaitteistoille on suoritettava määräaikaistarkastus viiden vuoden välein. Määräaikaistarkastuksessa varmistutaan sähkölaitteiston haltijan toiminnasta sähkölaitteiston turvallisuuden ja kunnossapidon ylläpitämiseksi pistokokein. Määräaikaistarkastuksen voi tehdä vain valtuutettu tarkastaja tai valtuutettu laitos. Tarkastajan valtuutuksesta huolehtii Suomen sähköturvallisuusviranomainen TUKES (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto). Tarkastuksen suorittamisesta tulee sähkölaitteiston haltijan huolehtia itse. (Sähköturvallisuuslaki, 2016).

## 2.3 Sähkömarkkinalaki

Suomen sähkömarkkinoille on säädetty *sähkömarkkinalaki* varmistamaan tehokas ja kestävä toiminta kansallisille ja alueellisille markkinoille sekä EU:n sisäisille sähkömarkkinoille. Lain tarkoituksena on taata sähkömarkkinoilla hyvä toimitusvarmuus, kilpailukykyinen sähköenergian hinta ja kohtuulliset palveluperiaatteet kaikille sähkön kuluttajille eli loppukäyttäjille. Lakia sovelletaan nimenomaan sähkömarkkinoihin, eli sähkön tuotantoon, tuontiin, vientiin ja siirtoon. Laki koskettaa Suomessa toimivia luvanvaraisia, sähköverkkotoimintaa harjoittavia verkonhaltijoita. (Sähkömarkkinalaki, 2013).

Sähköverkkoyhtiöiden tulee sähkömarkkinalaissa määritellysti turvata ja ylläpitää riittävän hyvänlaatuinen sähkön saanti kuluttajille ylläpitämällä ja kehittämällä verkkoa. Sähkömarkkinalain vuoden 2013 uudistuksen myötä ja toimitusvarmuuteen liittyvien velvoitteiden johdosta useiden sähköverkkoyhtiöiden tulee lisätä sähköverkon varautu-

misen ja kunnossapidon resursseja merkittävästi. Verkon kehittämisvelvollisuuksissa sähkömarkkinalain 19 § (Sähkömarkkinalaki, 2013) velvoitetaan seuraavaa:

- 1) sähköverkko täyttää sähköverkon toiminnan laatuvaatimukset ja sähkönsiirron sekä -jakelun tekninen laatu on muutoinkin hyvä;
- 2) sähköverkko ja sähköverkkopalvelut toimivat luotettavasti ja varmasti silloin, kun niihin kohdistuu normaaleja odotettavissa olevia ilmastollisia, mekaanisia ja muita ulkoisia häiriöitä;
- 3) sähköverkko ja sähköverkkopalvelut toimivat mahdollisimman luotettavasti normaaliolojen häiriötilanteissa ja valmiuslaissa (1552/2011) tarkoitetuissa poikkeusoloissa;
- 4) sähköverkko toimii yhteensopivasti sähköjärjestelmän kanssa ja se voidaan tarvittaessa liittää yhteen toisen sähköverkon kanssa;
- 5) sähköverkkoon voidaan liittää vaatimukset täyttäviä käyttöpaikkoja ja voimalaitoksia;
- 6) verkonhaltija kykenee muutoinkin täyttämään sille kuuluvat tai tämän lain nojalla asetetut velvollisuudet.

Näistä olennaisimpina kunnossapidon ja kunnonhallinnan näkökulmasta on kohdat 1 ja 2. Sähköverkon on toimittava luotettavasti normaaliolosuhteissa ja jakelun tekninen laatu on oltava hyvää. Tämä tarkoittaa sitä, että komponenttien tulee toimia normaalikäytössä ja -olosuhteissa luotettavasti, eikä aiheuta turhia keskeytyksiä sähkönjakeluun. Komponenttien kuntoa voidaan seurata ja parantaa tarkastuksilla, kunnossapidolla ja korjauksilla.

Sähkömarkkinalaki koki merkittäviä muutoksia vuonna 2013, jolloin lakia uudistettiin ja varsinkin sähkönjakelun toimitusvarmuudelle asetettiin uusia vaatimuksia. Uudistuksen taustalla ovat muun muassa pahoja tuhoja sähköverkoissa aiheuttaneet Tapani ja Hannu-myrskyt vuosina 2011 ja 2010. Lain uudistuksen myötä sähköverkkoyhtiöille asetettiin selkeämpiä vaatimuksia keskeytysten vähentämiseen ja sähkön laadun parantamiseen. Nyky-yhteiskunta on kokoajan entistä riippuvaisempi sähköstä ja sähkön toimitusvarmuus nousee yhä suuremmaksi aiheeksi. Sähkömarkkinalaki velvoittaa sähköverkkoyhtiöitä parantamaan ja kehittämään omaa toimintaansa jatkuvasti. Lain uudistuksessa myös keskeytyksistä kuluttajille aiheutuvien haittojen korvauksia korotettiin, mikä ajaa myös verkkoyhtiöitä parantamaan toimitusvarmuutta. (Sähkömarkkinalaki, 2013).

Sähkömarkkinalaissa määritellään jakeluverkon toiminnan laatuvaatimukset sähkönjakelun keskeytyksille. Jakeluverkko ei saa aiheuttaa asemakaava-alueella yli kuuden tunnin, ja muilla alueilla yli 36 tunnin keskeytyksiä. Sähkömarkkinalaki velvoittaa jakeluverkonhaltijat laatimaan verkkoa koskevan kehittämissuunnitelman, jolla määritellään ne toimenpiteet, joilla vaatimukset täytetään. Kehittämissuunnitelma tulee päivittää kahden vuoden välein.

## 2.4 Viranomaisvalvonta

Sähköverkkoliiketoiminta on Suomessa luvanvaraista toimintaa. Toimintaa saa harjoittaa vain Energiaviraston erikseen myöntämällä sähköverkkoluvalla. Sähköverkkotoiminta on *luonnollista monopolitoimintaa*, koska rinnakkaisia sähköverkoja ei Suomessa ole rakennettu, joten sähköön kuluttajan ei ole mahdollista kilpailuttaa sähköön siirtoa kulutuspisteeseen.

Luonnollinen monopoli on sellainen toiminto, joka on aina kustannustehokkaampaa yhden yrityksen hoitamana, verrattuna moneen rinnakkaiseen toimijaan. Tällaisia ovat pääosin useat infrastruktuuriin verkkoihin perustuvat palvelut, kuten sähköverkot, vesihuolto, rautatiet ja maantiet. Täten on luonnollista, että sähköverkkotoimintaan kohdistuu määräyksiä ja ohjausta sähkömarkkinalain kautta. Sähköalalla monopoliasemassa toimivien yhtiöiden toimintaa edistetään sähkömarkkinalaissa asetetuilla sääöksillä ja energiaviraston valvonnalla. Verkkotoiminnan tulee olla tehokasta ja hinnoittelun kohtuullista. (HE 20/2013). Viranomaisvalvonnan menetelmät on katsottu tarpeelliseksi ottaa tässä työssä esiin, koska niillä on olennainen vaikutus sähköverkkoyhtiöiden toimintaan ja epäsuorasti vaikutuksia kunnossapitoon.

### 2.4.1 Valvontamenetelmä

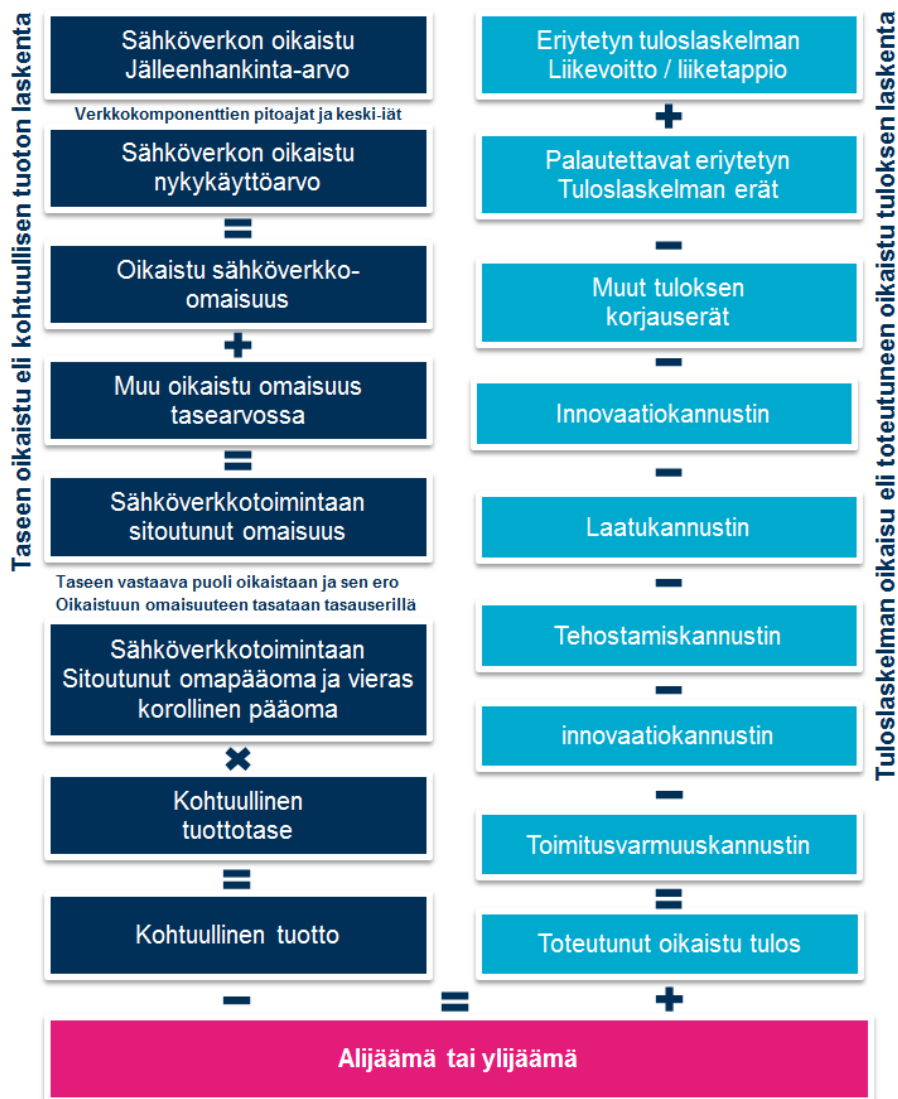
Sähköverkkoyhtiöiden hinnoittelun kohtuullisuutta säädellään Energiaviraston *valvontamenetelmillä* neljän vuoden pituisilla valvontajaksoilla. Menetelmät koskevat sähköön jakeluverkonhaltijoita ja suurjännitteisen jakeluverkon haltijoita. Energiavirastolla on erikseen säädetyn valvontalain (590/2013) mukaiset oikeudet ja toimivaltuudet toimia kansallisena sääntelyviranomaisena Suomen sähkömarkkinoilla. (Valvontalaki, 2013)

### 2.4.2 Valvontajaksot

Energiaviraston valvontamenetelmät on säädetty neljännelle 1.1.2016 - 31.12.2019 ja viidennelle 1.1.2020 - 31.12.2023 valvontajaksoille uusimmassa valvontamallissa (Energiavirasto, Valvontamenetelmät, 2015). Yksinkertaistettuna Energiaviraston valvontamenetelmissä asetetaan ja säädetään verkkoyhtiöille kohtuullinen tuotto, josta yhtiöin toteutuneella oikaistulla tuloksella saadaan ali- tai ylijäämä. Sähköverkkoyhtiöiden valvonta on avointa asiakkaille ja tiedotusvälineille. Virasto julkaisee valvontajakson päätteeksi loppuraportoinnissa kaikilta verkkoyhtiöiltä tehdyt laskelmat. Valvontajakson aikana toteutunut ylijäämä pitää seuraavan valvontajakson aikana tasoittaa. Tasoitus voidaan toteuttaa investoimalla ylijäämä sähköverkkoihin tai esimerkiksi laskemalla sähkönsiirron hintaa kuluttajille. (Energiavirasto, Valvontamenetelmät, 2015)

### 2.4.3 Kannustimet

Energiaviraston valvontamenetelmissä on säädetty sähköverkkoyhtiöille erilaisia kannustimia ohjaamaan ja kehittämään toimintaa. Kannustimilla vaikutetaan verkkoyhtiöiden päätöksiin ja toimintoihin koskien verkon rakentamista, käyttötoimintaa, ylläpitoa ja kehitystä. Kannustimilla on suora vaikutus verkkoyhtiön toteutuneeseen oikaistuun tulokseen ja edelleen tuoton jäämään. (Energiavirasto, Valvontamenetelmät, 2015). Sähköverkon kunnonhallinnan kannalta oleellisin ja konkreettisin kannustin on laatu-kannustin, jossa vaikuttavana tekijänä ovat verkkoyhtiön keskeytyskustannukset.



Kuva 3. Neljännen ja viidennen valvontajakson valvontamenetelmät ja elementit (Energiavirasto, Valvontamenetelmät, 2015)

Valvontamenetelmät ja jäämän laskenta koostuu useista eri toiminnoista, jotka muodostavat kuvassa 3 esitetyn laskentamallin. Tällä kokonaisuudella valvotaan sähköverkkoyhtiöiden sallittuja tuottoja ja edelleen sähkön siirron hinnoittelun kohtuullisuutta.



Sähköverkkoyhtiön toimitusvarmuuskannustimeen vaikuttavat kunnossapito- ja varautumistoimenpiteet. Kuitenkin kannustimeen hyväksyttäviä toimia toimitusvarmuuden parantamiseksi käytännössä ovat vierimetsän hoidosta aiheutuvat kustannukset. (Energiavirasto, Valvontamenetelmät, 2015).

Laatukannustimella verkkoyhtiöitä ohjataan kehittämään sähkösiirron ja -jakelun laatua. Tavoitteena on saavuttaa vähintään sähkömarkkina-alueissa edellytetty toimitusvarmuuden taso ja ohjata verkonhaltijoita kehittämään sähköjakelun laatua oma-aloitteisesti lain vaatimuksia paremmaksi. Sähköjakelun laatua mitataan jakelun keskeytysten määrällä ja kestolla. Sähkön keskeytyksille on määritetty yksikköhinnat, eli niin sanottu KAH-kustannus (keskeytyksestä aiheutuva haitta). Jakeluyhtiöt raportoivat vuosittain Energiavirastolle toteutuneet keskeytykset ja niitä vertaillaan yhtiön ominaisiin kohtuullisiksi katsottuihin keskeytyskustannuksiin. Jos toteutuneet kustannukset ovat pienemmät kuin kohtuullinen taso, yhtiön sallittu tuotto kasvaa ja vastaavasti sallittu tuotto pienenee, mikäli kustannukset ylittävät kohtuullisen rajan (Honkapuro, ym., 2007). Uudessa laatukannustimessa käytetään aiempien puolikkaiden kustannusten sijaan kokonaisia keskeytyskustannuksia, jolloin laatukannustimen merkitys korostuu entisestään. Keskeytyskustannuksille asetetut yksikköhinnat on esitettyä kuvassa 4. (Energiavirasto, Valvontamenetelmät, 2015).

Odottamaton keskeytys		Suunniteltu keskeytys		Aikajälleenytkentä	Pikajälleenytkentä
$h_{E,odott}$	$h_{W,odott}$	$h_{E,suunn}$	$h_{W,suunn}$	$h_{AJK}$	$h_{PKK}$
€/ kWh	€/ kW	€/ kWh	€/ kW	€/ kW	€/ kW
11,0	1,1	6,8	0,5	1,1	0,55

Kuva 4. Neljännen ja viidennen valvontajakson keskeytysten yksikköhinnat (Energiavirasto, Valvontamenetelmät, 2015)

Kunnossapidon vaikutus kannustimien kautta näkyy suoraan keskeytysten kautta laatukannustimessa. Sähköverkon kunnossapidolla on merkittävä osuus keskeytysten ehkäisemisessä ja sähkön laadun varmistamisessa. Verkon eri osien ja komponenttien systemaattinen tarkastelu ja huolto parantavat toimitusvarmuutta ja ehkäisevät vikaantumisia ja täten vähentävät keskeytyksistä aiheutuvia kustannuksia.

Tehostamiskannustimella verkkoyhtiöitä ohjataan tehostamaan toimintaansa ja kohdistamaan resursseja sekä budjetoituja varoja mahdollisimman tehokkaasti. Tehostamiskannustimeen otetaan huomioon verkkoyhtiön kontrolloitavissa olevat operatiiviset kustannukset, joihin lisätään sähköntoimituksesta aiheutunut laskennallinen haitta kyseisenä vuonna, sekä erikseen määritetty yhtiökohtainen tehostamistavoite. Tehostamiskan-

nustin ohjaa kunnossapitoa siten, että siihen sijoitetut resurssit ohjataan mahdollisimman tehokkaasti verkon käyttökustannusten kannalta, eikä toimintaa ylimitoiteta turhaan.

Kannustimien vaikutus ja rakenteen kehittyminen tulevaisuudessa on aiheellinen varsinkin kunnossapidon osalta. Nykypäivänä monen verkkoyhtiön toiminta on pääosin investointipainotteista. Vanhaa verkkoa uusitaan ja maakaapeloidaan kovaa tahtia, sähkömarkkinalain vaatimuksista toimitusvarmuuden parantamiseksi. Kun investoinnit alkavat hiipua suurimman osan verkosta ollessa uutta 10 - 15 vuoden kuluttua, tulee valvontamallin myös muuttua. Tällöin verkon kunnossapidon ja elinkaaren hallinnan rooli korostuu entisestään.

### 3. KUNNONHALLINTA

Kunnonhallinnalla tarkoitetaan yleisemmin omaisuuden ylläpitoa ja siihen liittyviä tukitoimia eli toimenteita, joilla nykykuntoa ja kunnon kehittymistä hallitaan. Kunnonhallintaa ohjaavia periaatteita, ohjeita, tavoitteita ja toimintamalleja kutsutaan kunnonhallintapolitiikaksi tai kunnonhallintastrategiaksi. Strategian mukaisia omaisuuteen liittyviä käytännön toimia kutsutaan edelleen kunnossapidoksi. Sähköverkkojen kunnossapitoon lasketaan mukaan myös johtokatuja raivaukset, oksiminen ja vierimetsän puustonhoito. Tässä työssä ei käsitellä sähköverkon puustonhoitoa, vaan kunnossapitoa komponenttien mekaanisesta näkökulmasta, eikä ulkoisista tekijöistä.

Sähköverkon kunnonhallinnan tavoitteena on ylläpitää verkkoa, varmistaa suunnitellun käyttöjän toteutuminen ja minimoida sähköverkon kokonaiskustannuksia. Kunnossapitoprosessi tuottaa lisäksi arvokasta tietoa sähköverkosta, jonka avulla pyritään varmistamaan sähköverkon komponenttien suunnitellun käyttöjän toteutuminen.

Kunnossapito on kuitenkin osittain pakollista jo sähkömarkkinalain ja sähköturvallisuuslain mukaisestikin. Kunnossapitoa on järkevää suorittaa, jotta sähköverkon komponenttien koko elinkaari saadaan käytettyä, ja voidaan taata verkon turvallisuus ulkopuolisille sekä riittävä sähkön toimitusvarmuus. Sähkömarkkinalain 47 § velvoitetaan sähkölaitteiston haltijaa huolehtimaan laitteiston turvallisuudesta sekä tarvittavasta kunnossapidosta. Sähkölaitteistolle on laadittava kunnossapito-ohjelma, jolla katetaan kaikki verkon osat. Kunnossapito-ohjelman sisältöä tai laajuutta ei viranomaisten toimesta tarkemmin määritellä, joten ohjelman sisältö on suurelta osin laitteiston haltijan itse määriteltävissä. (Sähköturvallisuuslaki, 2016).

Jakeluverkkojen ylläpitokustannuksiin lasketaan mukaan johtokatuja raivaukset, puuston hoito, pylväiden lahotarkastukset, kävely- ja lentotarkastukset, muuntamoiden ja erityiskohteiden tarkastukset sekä huolto- ja korjauskustannukset.

#### 3.1 Omaisuudenhallinta

Omaisuudenhallinta on laaja käsite ja se on laajasti määritelty eri tutkimuksissa. Yleisesti se viittaa mihin tahansa toimeen, jolla tarkkaillaan ja ylläpidetään jotakin omaisuuserää ja maksimoidaan omaisuudella saatavaa tuottoa. Tällä voidaan tarkoittaa aineellista omaisuutta tai aineettomia hyödykkeitä, eli aineetonta pääomaa. (Institute of asset management, 2008) Tässä työssä omaisuuden hallinnan näkökulmasta tarkastellaan Elenia Oy:n aineellista pääomaa eli fyysistä sähköverkkoa, sen hallintaa ja siihen liittyviä toimia. Sähköverkkoihin sitoutunut pääoma on erittäin suuri ja verkon kom-

ponenteilla on pitkä käyttöikä, jolloin omaisuudenhallinnan merkitys korostuu. Omaisuudenhallintaan liittyen on yleisesti käytössä kaksi kansainvälistä standardia, PAS 55 ja ISO 55001. Omaisuudenhallinnan toteuttaminen ja sen tehokas hyödyntäminen vaatii kurinalaista lähestymistapaa ja sitoutumista koko organisaatiolta.

### 3.1.1 Verkko-omaisuus

Sähköverkkoyhtiöiden verkkoon on sijoitettuna mittava arvo ja verkon käyttöikä on pitkä, joten systemaattinen ja pitkäjänteinen omaisuudenhallinta on oleellinen osa verkon hallintaa. Omaisuuden arvo määritellään Energiaviraston valvontamallissa komponenttien yksikköhinnoilla ja on täten tarkkaan laskettavissa viranomaisen regulaatiota varten. Omaisuudenhallinnalla sähköverkkoyhtiöissä tarkoitetaan yhtiön luomia ja käyttämiä toimintamalleja ja periaatteita liittyen verkoston kehittämiseen, ylläpitoon ja käyttöön. Sähköverkkoyhtiöissä yleisesti omaisuudenhallinta voidaan jakaa kolmeen osaan: kehittämissuunnitteluun, kunnossapitoon ja verkon käyttöön. (Lakervi & Partanen, 2009)

### 3.1.2 Laadukas omaisuudenhallinta

Omaisuudenhallinnasta on hyötyjä yritykselle monesta eri näkökulmasta. Omaisuudenhallintaan ja toiminnan ylläpitoon liittyy suoranaisia kustannuksia, mutta kokonaishyötyjä on tarkasteltava erittäin laajalti. Omaisuudenhallintaan panostaminen vaikuttaa isolla osin pitkällä aikavälillä, varsinkin sähköverkkoyhtiössä, jossa omaisuudenhallinnalla on suuri vaikutus muun muassa sähköverkon kuntoon, verkon luotettavuuteen ja edelleen käyttökustannuksiin. Teknisesti hyvässä kunnossa oleva ja luotettava verkko aiheuttaa vähemmän kunnossapitokustannuksia ja keskeytyksiä aiheuttavia vikoja.

Omaisuudenhallinnalla sähköverkkoyhtiö voi saavuttaa paljon hyötyjä, joita ovat muun muassa:

- Verkko-omaisuuden kustannusten ja riskien parempaa hallintaa: investointien ja riskienhallinnan rooli ja kohdentaminen helpottuu
- Sähköverkon käyttövarmuuden paranemista: parantaa verkon luotettavuutta ja vähentää asiakaskeskeytyksiä ja niistä aiheutuvia kuluja
- Organisaation tehokkuutta, joka parantaa asiakastyytyväisyyttä ja palveluiden laatua
- Pitkän aikavälin luotettavuutta ja suorituskykyä
- Optimoitua tuottoa ja kasvua: parantaa yrityksen arvoa rahoitusmarkkinoilla ja sijoittajien näkökulmasta
- Mainetta: parantaa sidosryhmien, omistajien, sijoittajien ja asiakkaiden luottamusta ja lisää henkilöstön tyytyväisyyttä. (Institute of asset management, 2008).

### 3.1.3 Omaisuudenhallinta Elenia Oy:ssä

Elenialla on käytössään systemaattinen omaisuudenhallintajärjestelmä, jolla taataan sähköverkkojen ja palveluiden kestävä kehitys. Järjestelmä kattaa kaikki yhtiön fyysiseen omaisuuteen liittyvät pääprosessit, verkko-omaisuuden, tietoliikenteen ja tekniset IT-järjestelmät. Elenia Oy on sertifioinut omaisuudenhallintajärjestelmät ISO 55001 ja PAS 55 -standardien mukaan. Omaisuudenhallinnalla on näkyvä rooli niin sisäisessä kuin ulkoisessa viestinnässä. Elenian tavoitteena on olla edelläkävijä ja luotettava sähköverkkoyhtiö, niin omistajien, kuin asiakkaidenkin silmissä. (Elenia, 2014a)

Elenian johdonmukainen ja korkealaatuinen verkko-omaisuuden hallinta takaa tukevan perustan verkkoliiketoiminnan, palveluiden ja yhtiön kehittämiseksi pitkäjänteisesti. Johdonmukaisella ja selkeällä omaisuudenhallintapolitiikalla Elenia luo edellytyksen luotettaville sähkömarkkinoille sekä sähköverkkojen kestäväälle kehitykselle. Sähköverkko-omaisuus on mittava fyysinen omaisuus ja järjestelmällisellä omaisuudenhallinnalla voidaan taata verkon kehittyminen, elinkaaren hallinta ja riskien minimointi. (Elenia, 2014a). Verkon elinkaaren hallinnan kulmakivenä toimii kattava kunnonhallintastrategia.

## 3.2 Kunnossapito

Kunnossapito määritellään Suomen standardisoimisliiton SFS ry:n mukaisesti seuraavasti: *Kunnossapito koostuu kaikista kohteen elinajan aikaisista teknisistä, hallinnollisista ja liikkeenjohdollisista toimenpiteistä, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa kohteen toimintakyky sellaiseksi, että kohde pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon* (Suomen Standardisoimisliitto ry, 2001).

Tässä työssä tarkastellaan kunnossapidon suunnittelua ja ohjausta järjestelmänäkökulmasta, eikä perehdytä kunnossapidon käytännön toimiin eli komponenttien varsinaisiin huoltotoimenpiteisiin. Kunnossapito on keskeinen osa sähkölaitteiden käyttövarmuutta ja turvallisuutta. Sähkölaitteiden ja -laitteistojen kunnossapidolle myös sähköturvallisuuslain 5 § asettaa omia ehtojansa seuraavasti: *Sähkölaitteet ja -laitteistot on suunniteltava, rakennettava, valmistettava ja korjattava niin sekä niitä on huollettava ja käytettävä niin, että:*

- 1) niistä ei aiheudu kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa;
- 2) niistä ei sähköisesti tai sähkömagneettisesti aiheudu kohtuutonta häiriötä;
- 3) niiden toiminta ei häiriinny helposti sähköisesti tai sähkömagneettisesti.

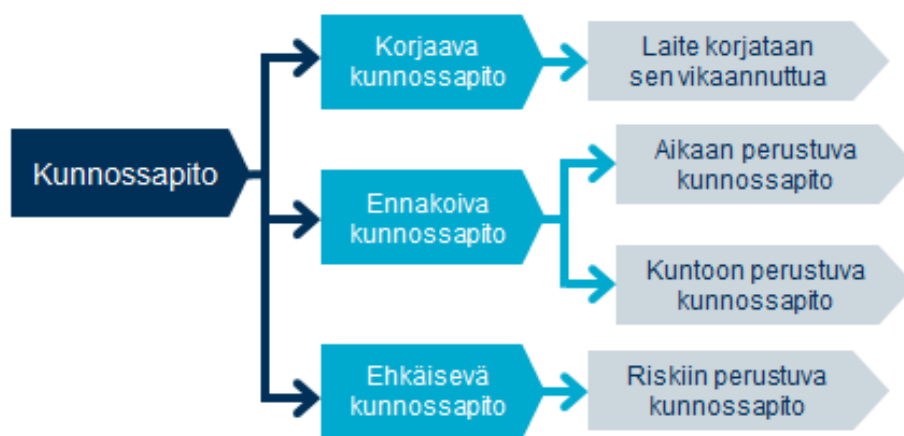
*Jos sähkölaitte tai -laitteisto ei täytä 1 momentin edellytyksiä, sitä ei saa saattaa markkinoille eikä ottaa käyttöön.* (Sähköturvallisuuslaki, 2016)

Sähköverkon kunnossapito-ohjelman pääasiallinen tarkoitus on turvallisuuden ja käyttövarmuuden ylläpito. Kunnossapito-ohjelmia tukevat sähköverkon kuntotarkastuksista

saatavat komponenttikohtaiset tarkastustulokset. Riittäväillä kuntotarkastuksilla ja kunnossapito-ohjelmilla sähköverkkoyhtiö voi todentaa sähköturvallisuusviranomaiselle, että säädetyt vaatimukset verkon turvallisuudesta, kunnosta ja sen seurannasta täyttyvät.

### 3.2.1 Kunnossapitostrategiat

Kunnossapito voidaan jakaa pääosin kahteen luokkaan, *ehkäisevään* ja *korjaavaan* kunnossapitoon. Ehkäisevässä kunnossapidossa komponenttien toimintakuntoa ylläpidetään ja vikoja ehkäistään määräajoin tehtävillä huolloilla. Vikoja ehkäistään suorittamalla huoltoja myös kunnan tai havaintojen perusteella. Korjaava kunnossapito määritellään usein myös reagoivaksi kunnossapidoksi, eli kunnossapitotoimiin ryhdytään vasta vian ilmaannuttua.



Kuva 5. Kunnossapitostrategiat

Korjaavassa kunnossapidossa (RM, reactive maintenance) vikaantuneeksi todettu komponentti tai järjestelmän osa korjataan vastaamaan alkuperäistä käyttökuntoaan. (Järviö J. , 2006)

Ennakoivassa kunnossapidossa komponenttien huoltotoimet jaksotetaan aikaperusteisena (TBM, time based maintenance) tai kuntooperusteisena (CBM, condition based maintenance). Ehkäisevä kunnossapito sisältää joukon tekniikoita, joilla vikaantumista pyritään ehkäisemään ja laitteen käyttöikää pidentämään. Ehkäisevän kunnossapidon tavoitteena on ylläpitää laitteen käyttövarmuutta tekemällä erilaisia huoltotoimia, vaikka laitteessa ei mitään fyysistä vikaa tai poikkeamaa vielä esiintyisikään. Kuntoon perustuvassa kunnossapidossa komponentin kuntoa voidaan seurata erilaisilla mittauksilla tai esimerkiksi silmämääräisillä tarkastuksilla. Ennakoivassa kunnossapidossa pyritään korjaamaan vähäisiä poikkeamia ja alkavia vikoja. Toimia siis suoritetaan, vaikka laitteessa ei vielä varsinaista vikaa ole havaittu. (Järviö J. , 2006)

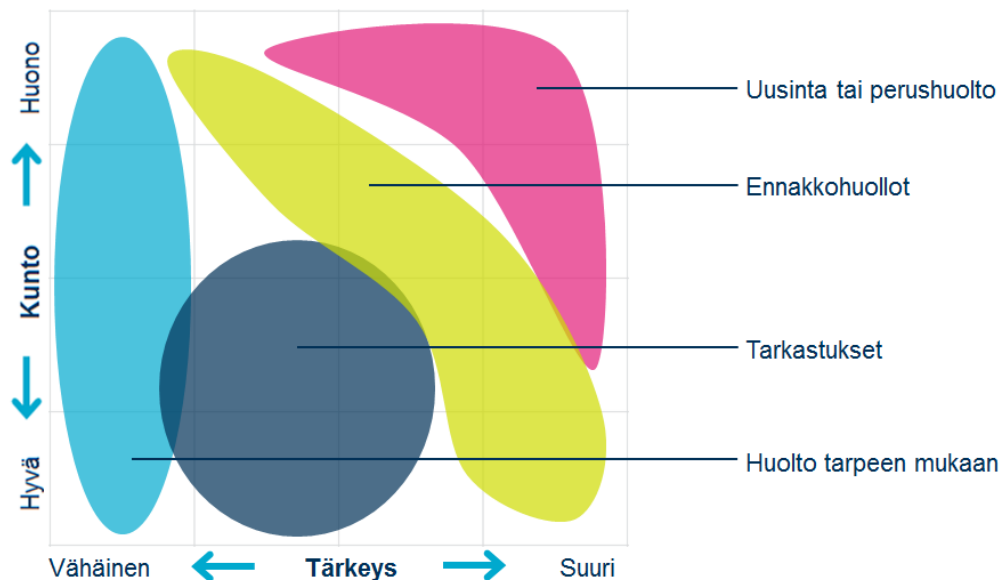
Ehkäisevällä kunnossapidolla tarkoitetaan tässä työssä riskiin perustuvaa kunnossapitomenetelmää. Riskiperusteinen kunnossapito voidaan varsinkin sähköverkon komponenteille mieltää luotettavuuspohjaisena kunnossapitona, jossa määritellään kom-

ponentin fyysinen kunto ja vikaantumisen aiheuttamat riskit. Ennakoivassa ja ehkäisevässä kunnossapidossa komponenteille luonnollisesti tehdään toimia jolla komponentin kuntoa ja mahdollista vikaantumisen alkamista tarkkaillaan ja komponentin toimintakuntoa ylläpidetään. Näitä toimia ovat tavallisesti:

- Verkon komponenttien silmämääräiset tarkastukset
- Komponenttien ja tilojen puhdistukset
- Erilaiset mittaukset (maadoituksen eheys, jännite, eristystaso, lahoisuus)
- Määräaikaishuollot

Vastaavasti korjaavassa kunnossapidossa ei komponenteille tehdä erillisiä tarkastuksia tai huoltotoimia, ennenkö kohteessa todetaan vika tai alkava vika.

Sähkönverkon komponenteille tulee erikseen määritellä käytettävä kunnossapitostrategia. Määrittelyssä voidaan käyttää luotettavuuspohjaista kunnossapitomallia (RBM, reliability based maintenance). Luotettavuuteen pohjautuvassa strategiassa komponentin kunnon lisäksi tarkastellaan sen tärkeyttä sähköverkon käyttövarmuuden kannalta. Komponentin tärkeysindeksistä käytetään usein määritelmää riski-indeksi, joka kuvaa komponentin vioittumisesta aiheutuvia haittoja. Suuren riskin omaavan komponentin vioittuessa aiheutuu verkolle laajat käyttöhäiriöt ja täten keskeytyskulut (KAH) kasvavat, jotka johtavat edelleen maine- ja asiakashaittoihin. Kuvassa 6 on esitettyä luotettavuuspohjaisen kunnossapidon tyypilliset toimenpiteet jaoteltuna komponenttien tärkeyden ja kunnon mukaan.



Kuva 6. Luotettavuuspohjainen kunnossapitostrategia

Käytännössä sähköverkkoyhtiöillä komponenttien reaaliaikaista kuntoa on teknistaloudellisuuden näkökulmasta haastavaa tarkkailla, sillä monen laitteen ja komponentin kunto perustuu kohteen fyysiseen kuntoon, joka voidaan selvittää silmämääräisesti tar-

kastamalla. Kunnossapitostrategioiden valinta pohjautuu suurilta osin komponenttien tärkeyteen sähköjakelun kannalta. Luotettavuuspohjaisessa kunnossapidon suunnittelussa käytetään tukena kriittisyysluokittelua, joka tukee ja selkeyttää eri komponenteille valittavaa kunnossapitostrategiaa.

### 3.2.2 Kriittisyysluokittelu ja strategioiden soveltuvuus

Kunnonhallinnan suunnittelua ja toteutusta sähköverkkoyhtiössä ohjaavat reunaehdot turvallisuudesta, liiketoiminnasta ja verkon käyttövarmuudesta. Sähköverkon kunnonhallintastrategialla pyritään toteuttamaan kokonaisoptimointi kunnossapidolle. Verkon eri osien kunnossapitostrategiat ja strategioiden perusteella laaditut kunnossapito-ohjelmat pyritään laatimaan niin, että turvallisuus-, luotettavuus- ja kustannuslähtöinen optimointi toteutuvat.

Liiketoiminnallisesti ei kaikkia komponentteja ole kannattavaa huoltaa tai tarkastaa vain varmuuden vuoksi, vaikka sillä saavutettaisiinkin mahdollisesti parempi taso verkon kunnolle. Kuitenkin sähköturvallisuuslain mukaan sähkölaitteiston haltija on vastuussa laitteistonsa turvallisuudesta, joten laitteiston kuntoa ja turvallisuutta on tarkkailtava riittävästi. Eli koko verkolle tehdään kuntotarkastuksia, joilla komponenttien tilaa ja kuntoa havainnoidaan. Kriittisyysluokille edelleen voidaan asettaa erilaisia vaatimuksia, joka helpottaa optimaalisen kunnossapito-ohjelman määrittelyä.

Verkoston komponenttien kunnossapitostrategiaa valittaessa on määritettävä ensin sen sijoittuminen kriittisyysluokittelussa. Tämän jälkeen voidaan luokkakohtaisesti määrittää jokin tietty kunnossapitostrategia tai niiden yhdistelmä. Kriittisyysluokittelu voidaan määrittää täysin yhtiökohtaisesti. Tyypillisesti käytetään vähintään kolmi-portaista luokitteluasteikkoa seuraavasti (Kylliäinen;Laaksonen;& Viitasaari, 2011):

Luokka I:

- Korkea käytettävyys ja luotettavuus
- Korkea turvallisuus ja ympäristöystävällisyys
- Täydellinen ennakko- ja kunnossapito-ohjelma
- Jatkuva kunnonvalvonta
- Ennakoimattomat viat ja häiriöt pyritään ehkäisemään

Luokka II:

- Hyvä käytettävyys ja luotettavuus
- Vikaantuminen laitetasolla voi tapahtua
- Tarpeen mukainen kunnossapito-ohjelma ja tarkastukset

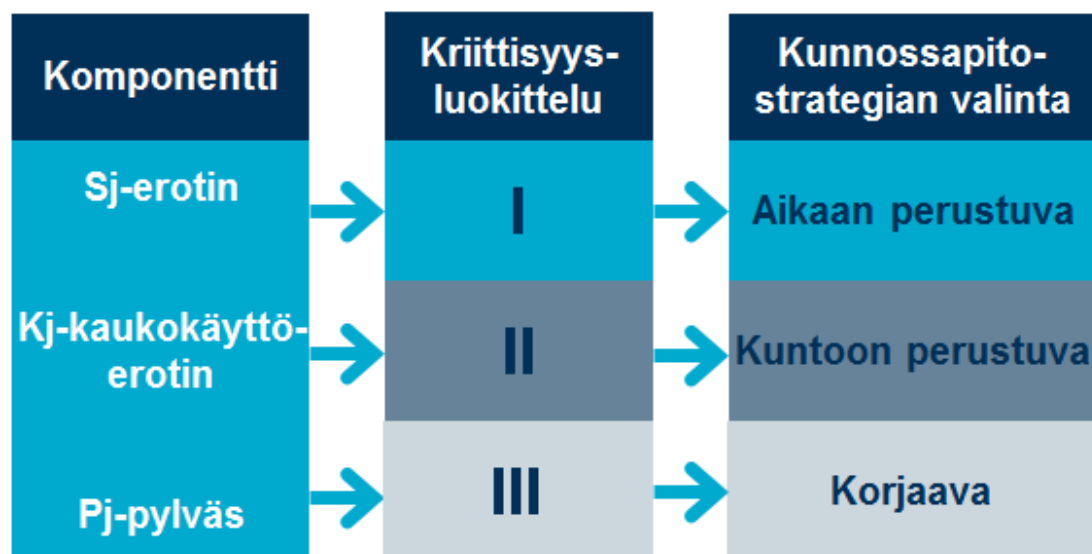
Luokka III:



- Vähäinen kriittisyys
- Vähäinen turvallisuus- tai taloudellinen vaikutus
- Voidaan saattaa vikaantuneeksi
- Tarpeen mukainen kunnossapito-ohjelma

Luokittelun mukaisesti voidaan sähköverkon komponentit jakaa niiden roolin ja rakenteen mukaan. Sähköverkossa tärkein yksittäinen komponentti on sähköasemalla olevat päämuuntajat, jotka toimivat sähköverkossa solmukohtina, jonka kautta syötetään suuria määriä tehoa suurelle osaa jakeluverkkoon. Sen vikaantumisesta aiheutuu usein mittavat suorat ja epäsuorat kustannukset verkkoyhtiölle. Tällöin vikaantumisia tai käyttöhäiriöitä pyritään ehkäisemään määräaikaishuolloilla ja tarkastuksilla. Usein komponenttien tärkeys ja kriittisyys laskee mentäessä pienemmälle jännitetasolle, kohti pienempää asiakasmäärää ja pienempiä tehoja. Yksittäisillä pienjännitekohteilla voidaan vikaantumisia sallia, jolloin kohde korjataan vasta vian ilmaannuttua.

Sähköverkon komponentit tulee jakaa niiden sijainnin, roolin ja tyyppin mukaan eri kriittisyysluokkiin. Kuvassa 7 on esimerkin omaisesti esitetty muutamalle eri tyyppiselle jakeluverkon komponentille kriittisyysjaottelu.



Kuva 7. Komponenttien kriittisyysluokittelu

Kuvassa esitettyjen luokittelu perustuu komponentin tärkeyteen sähköjakelun kannalta. Sähköasemalla sijaitseva suurjännite-erotin toimii tärkeänä kytkinlaitteena, jonka toimintavarmuus halutaan taata, joten sille suoritetaan määräaikaishuoltoja perustuen aikaan, riippumatta komponentin kunnosta ja käytöstä. Kaukokäyttöinen keskijännite-erotin puolestaan voidaan huoltaa tarvittaessa perustuen sen kuntoon, esimerkiksi jos erotin avautuu hitaasti tai alkaa jumittaa. Yksittäiselle pienjännitepylväälle sovelletaan päällekkäin kuntoon perustuvaa ja korjaavaa kunnossapitoa. Kunnossapitohavaintoja korjataan tarvittaessa tarkastusten perusteella, mutta ei aina, jolloin komponentti korjataan vasta sen vikaannuttua.

Komponenttien kriittisyysluokittelu on perustana laitteiden käytettävyyden, eliniän ja kunnon hallintaan. Se antaa hyvän pohjan huolto-toimenpiteiden ja korjausten suunnitteluun ja niiden kehittämiseen. Kriittisyysluokittelutapoja voi olla erilaisia ja niitä voi soveltaa hyvin vapaasti, riippuen yhtiön tavoitteesta ja omaisuuden tyypistä.

### 3.2.3 Kunnossapidon käytännöt Eleniassa

Sähköverkon kunnonhallinta on jatkuva ja kehittyvä prosessi. Elenian organisaatiossa koko verkko-omaisuuden kunnonhallinnasta ja kunnossapidosta vastaa kunnonhallinta-tiimi. Kunnonhallinnan menetelmät ovat erilaiset verkon eri osille.

Elenia on rakentamis- ja kunnossapitotöissä puhdas tilaajaorganisaatio. Suurin osa töistä teetetään aluekohtaisilla urakoitsijakumppaneilla, pois lukien isommat kokonaisuudet, jotka voidaan kilpailuttaa erikseen. Tällä hetkellä Elenialla on kuusi aluekumppania koko verkkoalueella, joka on jaettuna 22 eri urakointialueeseen. Alueelliset kunnossapitotyöt ensisijaisesti tilataan aina kyseisen alueen urakoitsijakumppanilta suoraan valmiiksi määritetyillä yksikköhinnoilla, joka yksinkertaistaa prosessia molempien osapuolten kannalta huomattavasti. Eri verkko-osien kunnossapitotöiden suunnittelusta ja tilaamisesta vastaa kyseisen osa-alueen vastuullinen kunnonhallinnan asiantuntija.

Elenia on määritellyt jakeluverkon kunnossapito-ohjelman omalle verkkoalueelleen soveltuvaksi. Pohjana kohteiden tarkastusväleissä on käytetty Verkostosuositusten ohjeellisia määraaikoja. Verkostosuositusten ohjeistus ja Elenian kunnossapito-ohjelmien vertailu on esitettyä alla taulukossa 1.

*Taulukko 1. Elenian kunnossapito-ohjelman ja ST-kortiston vertailu. (Sener, 1997) (Elenia 2014b).*

Toimenpide	ST-kortiston suositus	Elenian kunnossapito-ohjelma
KJ-ilmajohtojen tarkastus	6 vuoden välein	4 vuoden välein
PJ-ilmajohtojen ja jakokaappien tarkastus	6 vuoden välein	8 vuoden välein
Alueverkon tarkastus	3 vuoden välein	2 vuoden välein, joka toinen ilmakuvaus, joka toinen kävelen
Pylväsmuuntamoiden tarkastus	6 vuoden välein	4 vuoden välein
Puistomuuntamoiden tarkastus	6 vuoden välein	6 vuoden välein
Pylväiden lahotarkastus	25–30 vuoden ikäisille + uudelleen 5-10 vuoden välein	40 vuoden ikäisille, kerran elin-ian aikana
Erityiskohdetarkastus	ei määritelty	vuoden välein
KJ-verkon raivaukset	ei määritelty	tarveperusteisesti, 4 vuoden välein tehtävän ilmakuvausten perusteella
PJ-verkon raivaukset	ei määritelty	8 vuoden välein
Alueverkon raivaukset	ei määritelty	6 vuoden välein tai tarveperusteisesti, perustuen ilmakuvaukseen
Sähköasemien tarkastukset	ei määritelty	neljännesvuosittain

Kunnossapidon vastuullinen suunnittelija määrittelee ohjelman periaatteiden mukaan verkkoalueen tarkastukset, raivaukset, kunnossapitomenetelmät ja huoltokohteet, joiden sisällä tehtävät toimenpiteet tehdään jokaiselle jakeluverkon osalle. Eleniassa jakeluverkon kunnossapidon vuosittaiset toimenpiteet suunnitellaan sähköasemakohtaisesti. Verkossa ei siis ole varsinaista kunnossapidon alueellista jakoa vaan pien- ja keskijänniteverkon tarkastuskohteet suunnitellaan syöttävän sähköaseman perusteella. Kohteiden valinnassa pyritään tasaiseen työkuormaan urakoitsijoille, suunnittelemalla vuosittain tasainen määrä tarkastettavia kohteita. (Elenia, 2014b)

Kunnossapidon suunnittelija analysoi tarkastus- ja huoltotulokset sekä priorisoi ja huolehtii toimenpiteistä korjausta tai huoltoa vaativille kohteille. Tarpeen mukaan laaditaan kuntotietoraportteja. Analysoinnin pohjalta tarkennetaan kunnossapito-ohjelmaa tarvepohjaisemmaksi. Tarkastustulosten perusteella voidaan siis muokata kunnossapito-ohjelmassa mainittuja määräaikoja, jos se nähdään tarpeelliseksi. Jakeluverkon kunnossapidon pääasiallisena aineistona toimii siis sähköverkon kuntotarkastuksista saatavat havainnot. Sähköverkon tarkastusten lisäksi erilaisia havaintoja ja kunnossapitotarpeita tulee esiin muun muassa urakoitsijakumppaneilta ja asiakkailta. (Elenia, 2014b).

Sähköverkon lento- ja kävelytarkastusten perusteella komponenteille dokumentoidaan eriaisteisia kuntohavaintoja ja tarkastuksissa käydään läpi kohteen kuntoa monelta eri kannalta. Tarkastukset toimivat tarveperusteisen kunnossapidon perustana

Elenia teettää seuraavia sähköverkon kunnossapitotarkastuksia:

- 20 kV - 110 kV ilmajohtoverkon komponenttitarkastus helikopterikuvista
- 45 kV - 110 kV ilmajohtoverkon kävelytarkastus
- Sähköasematarkastukset
- Puistomuuntamotarkastukset
- Jakokaappitarkastukset
- 0,4 kV ilmajohtoverkon kävelytarkastukset
- 20 kV erityiskohdetarkastukset

Vuosittain Elenian jakeluverkossa korjataan yhteensä noin 10 000 erilaista kunnossapitohavaintoa eri verkon osissa. Näitä voivat olla esimerkiksi löystyneet harukset, lahot pylviä, haalistuneet varoituskyltit tai rikkinäiset rakenteet.

### **3.3 Kunnonhallinnan tietojärjestelmät**

Paljon kunnossapidon kohteita sisältävissä laitoksissa ja järjestelmissä on syytä käyttää tietojärjestelmää kunnossapidon tukena. Järjestelmiä voi olla useita ja niillä voi olla eri toimintoja. Prosessissa käytetyt tietojärjestelmät voidaan usein jaotella integroituihin järjestelmiin ja erillisjärjestelmiin. Integroidussa järjestelmässä kunnossapitojärjestelmä sisältää muitakin toimintoja, esimerkiksi taloushallintaa ja tuotantosuunnittelua tai käyt-

tötoimintaa. Erillisjärjestelmässä puolestaan toiminnot ovat jaettu omiin järjestelmiinsä ja keskustelevat liittymän kautta toistensa kanssa. Tietojärjestelmän avulla voidaan systemaattisesti tallentaa tietoa kohteiden kunnosta ja niiden historiasta, jolloin ne ovat helposti ja tehokkaasti käytettävissä datan analysointiin ja kunnossapidon suunnitteluun. (Järviö;Piispa;Parantainen;& Åstrom, 2007)

Tietojärjestelmät ovat yksi kunnossapito-organisaation työkaluista. Se toimii kuin mikä tahansa muukin työkalu, se on hyödyllinen vasta kun sitä käytetään kunnossapitoprosessia hyödyntävällä tavalla. Muutoin tietojärjestelmä ei tue organisaation toimintaa ja aiheuttaa vain turhia kustannuksia. Tietokantojen ylläpitäminen vaatii hyvää käytettävyyttä tietojärjestelmältä ja henkilöresursseja yhtiöltä. Mikäli näistä ei huolehdita, voi tietokanta muuttua hyödyttömäksi, tai sen tehokas käyttäminen voi olla liian työlästä. (Järviö;Piispa;Parantainen;& Åstrom, 2007).

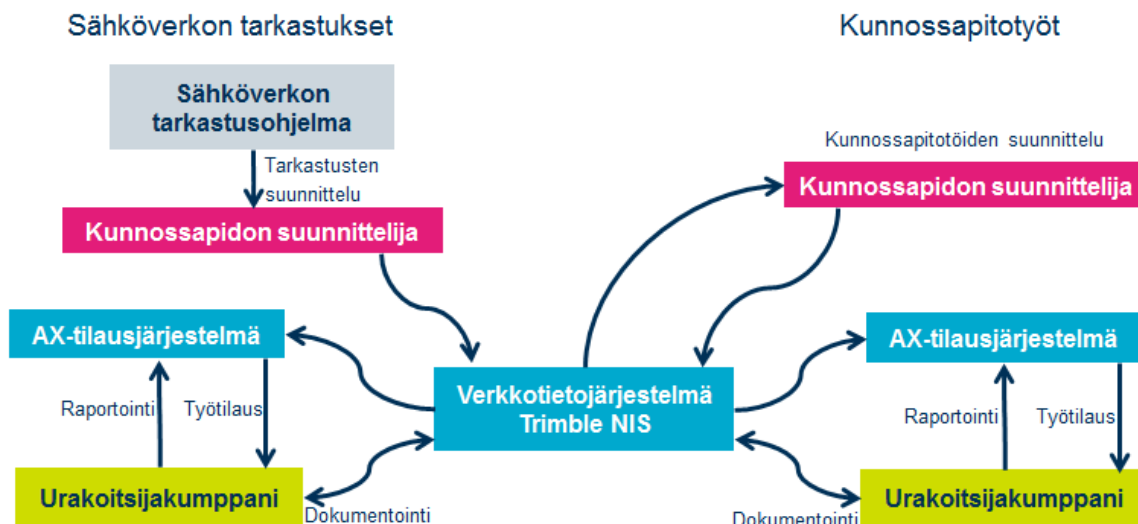
## 4. KUNTO- JA VIKATIE TOJEN ANALYSOINTI

Tässä kappaleessa käsitellään Elenian pien- ja keskijänniteverkkojen eri komponenttien kunnossapitotietoja ja -havaintoja. Keskijännitemuuntamoiden osalta tarkastellaan vain puistomuuntamoita, pois lukien muuntamoiden kytkinlaitteet (erottimet ja automaatio). Pylväsmuuntamoiden havaintoja on dokumentoitu lentotarkastusten perusteella pääosin pylväiden tietoihin. Maakaapeleiden kunnossapitotietojen käsittely on myös rajattu pois. Työssä keskitytään olemassa olevien ilmajohtoverkkojen ja maanpäällisten komponenttien kunnonhallintaan. Kuntotietojen analysoinnissa on tarkoituksena löytää mahdollisia ongelmakohtia ja vikaherkimpiä komponentteja, tutkimalla verkon tarkastustuloksia, töiden tilauksia ja sähköverkon vikatietoja. Lähtötietoina analysoinnissa on käytetty saatavilla olevia Elenian kunnossapitotilauksia ja listauksia kunnossapitotöistä. Sähköverkon vikatiedot on saatu käytöntukijärjestelmästä ja nämä ovat yhdistetty komponenttien kokonaiskustannuksiin.

Sähköverkon kunnossapitotyöt ja viat eroavat toisistaan lähinnä töiden kriittisyyden suhteen. Kriittisyys voi olla mahdollinen keskeytys sähkönjakelussa tai sähköverkon heikentynyt turvallisuus. Kunnossapitotöinä tilataan siis toimenpiteitä, jotka eivät ole kiireellisiä eivätkä vaadi välitöntä huomiota.

### 4.1 Tietokannat osana kunnonhallintaa

Elenialla on käytössään Trimble NIS -verkkotietojärjestelmä, jota käytetään myös kunnossapidon tietojärjestelmänä. Verkkotietojärjestelmään on tallennettu koko verkon tietomalli, joka sisältää jokaisen komponentin ominais- ja sijaintitiedot. Kunnossapidolle ei ole erillistä tietojärjestelmää, jossa dataa käsiteltäisiin. Verkkotietojärjestelmässä komponenteille tallennetaan sähköverkon kuntotarkastusten perusteella erilaisia kuntotietoja, joiden perusteella kunnossapidon suunnittelijat tilaavat verkkotietojärjestelmän kautta kunnossapitotyöt urakoitsijakumppaneilta. Kuvassa 8 on esitetty Elenian kunnonhallinnan keskeisimmät elementit kunnossapidon tietovirroista.



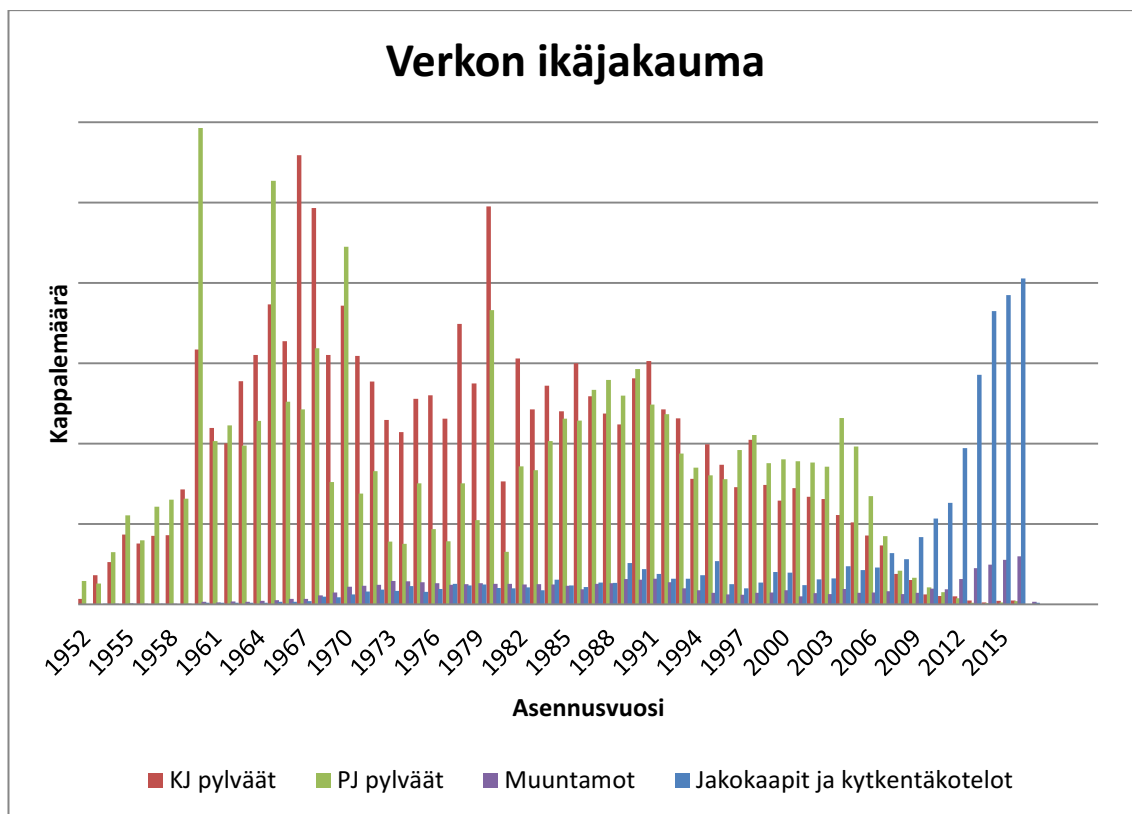
Kuva 8. *Kunnonhallinnan tietovirtakaavio*

Kunnossapidon keskeisenä tietojärjestelmänä on siis verkkotietojärjestelmä Trimble NIS, jossa kaikki kunnossapitodata käsitellään ja säilytetään. Verkkotietojärjestelmän, AX-tilausjärjestelmän ja urakoitsijoiden välillä toimii kaksisuuntainen tiedonvaihto raportoinnissa, dokumentoinnissa ja tiedonkeruussa.

Eri verkkoyhtiöissä on ollut erilaisia toimintatapoja ja eri tietojärjestelmiä, joten kunnossapitodatan siirtyminen yhtiöstä toiseen voi olla ollut hyvin työlästä eikä täten kannattavaa. Osalta jakeluverkkoa kunnossapitohavainnot ovat osittain puutteellisia, joten verkon kunnon ja tarkastustulosten perusteella suoritettujen korjaustöiden toteutumaa ja verkon kunnon kehittymistä on haasteellista tarkastella. Sähköverkon kunnossapitodataa voidaan ladata verkkotietojärjestelmästä ulos ja käsitellä Excel-ohjelmistolla suodattamalla aineistoa kunnossapidon suunnittelua ja tilauksia varten. Uuden verkkotietojärjestelmän version myötä suunnittelu voidaan toteuttaa suoraan järjestelmässä. Erillisen sähköverkon tarkastusohjelman perusteella suunnitellaan kaikki tarkastukset edelleen verkkotietojärjestelmään joka vuosi.

## 4.2 Verkon ikäjakauma

Sähköverkon rakennetta muutettiin ja uutta verkkoa rakennettiin 50-luvulta alkaen voimakkaasti aina 90-luvulle asti, jolloin lisättiin muuntopiirejä ja verkon kapasiteettia kasvatettiin. Nyt kun suuri osa verkosta alkaa olla elinkaarensa päässä ja sähkön toimitukselle on asetettu tiukempia vaatimuksia, joten sähköverkkoa rakennetaan uudestaan maakaapeloimalla. Sähköverkon pien- ja keskijänniteverkon komponenttien ikäjakauma on esitettyä alla kuvassa 9.



Kuva 9. Elenia Oy:n sähköverkon ikäjakauma

Kuvaajaan on sisällytetty pien- ja keskijännitepylväät, keskijännitemuuntamot ja pienjännitejakokaapit. Komponentit on valittu niiden tarkastusten ja kunnonhallinnan kannalta tässä työssä oleellisiksi. Kyseiset komponentit ovat tarkastettavissa maanpäällisesti ja visuaalisesti nykyisin menetelmin. Kuvaajasta nähdään, että ilmajohtoverkon rakentaminen painottuu suuresti 50- ja 90-lukujen väliin. 2000-luvulla, kun sähköverkon maakaapelointi on voimistunut, nähdään suuri kasvu muuntamoissa ja pienjännitejakokaapeissa. Komponenttikanta siis vaihtuu suurella vauhdilla toisenlaiseen. Osa vanhoista ilmajohdoista tulee jäämään käyttöön, sillä kuitenkin koko verkkoa ei ole kannattavaa maakaapeloida ainakaan lähitulevaisuudessa.

### 4.3 Sähköverkon vikatiedot

Sähköverkon käyttökeskuksen kautta dokumentoidaan järjestelmiin tuhansia sähköverkon vikoja vuosittain. Vikojen kirjaus perustuu sähkökeskeytystilanteen luomiseen järjestelmään, johon liitetään vika ja tapahtuman tiedot. Vikatiedot saadaan ladattua DMS-käyttökijärjestelmästä Excel-tiedostoon analysointia varten. Tietoja käsitellään yhdessä komponenttien kuntotietojen kanssa määrittämään sähköverkon vika-alttiimpia paikkoja ja komponentteja.

Sähköverkon vioille kirjataan ylös vian sijainti, aiheuttaja, vikaantuneen komponentin tiedot sekä kuvaus viasta ja toimenpiteistä mahdollisuuksien mukaan. Työssä käytettiin

vikailmoituksia vuosilta 2013 - 2017. Vikojen aiheuttajat jakaantuvat raportoinnin perusteella seuraavasti:

- Luonnonilmiöt	59 %	(tuuli, lumi, myrsky, jää)
- Ulkopuolisen toiminta	14 %	(puiden kaato, kaivu)
- Verkonhaltijan toiminta	6 %	(ylikuorma, työvirheet)
- Rakenneviat	6 %	(sulakepalot, komponenttivauriot)
- Muut	15 %	(tuntematon syy, eläimet)

Suurin osa vioista aiheutuu siis luonnonilmiöistä, eritoten puista ja oksista avolinjoilla. Rakennevikoja todettiin olevan 6 % kaikista kirjatusta verkon vioista eli 1444 kpl yhteensä. Sähköverkon komponenttien rakennevioiksi kirjataan tapahtumat, joille ei löydy selkeää ulkopuolista syytä, esimerkiksi kaatunut puu tai ulkopuolisen aiheuttama vahinko. Tällaisia vikoja on tyypillisesti palaneet sulakkeet, mekaaniset vauriot kaapeleissa, vialliset liittimet ja liitokset, vialliset varokekytkimet ja erottimet. Vikatietoja tutkittiin komponenttien kuntotietojen ohella.

#### 4.4 Komponenttien kuntohavainnot

Sähköverkon komponenteilta kerättävät tarkastustiedot ja edelleen niistä muodostettavat kuntohavainnot toimivat koko sähköverkon kunnonhallintaprosessin perustana. Kunnonhallintaa suoritetaan myös osittain suoraan muun muassa asiakasilmoitusten ja urakoitsijoiden kautta, mutta verrattuna tarkastuksilla tehtäviin havaintoihin, ovat määrät huomattavasti pienempiä. Kuntohavaintoihin ei sisälly sähköverkon viat, jotka etenevät eri prosessia pitkin välittömään korjaukseen.

Kuntotarkastukset tilataan urakoitsijakumppaneilta, jotka tekevät käytännön maastotarkastukset ja kuntotietojen dokumentoinnin. Komponenttien kunnon havainnoissa voi inhimillisistä syistä ilmetä poikkeamia. Toinen tarkastaja voi arvioida kohteen eri tavalla kuin toinen. Tämä voi johtua tarkastajien välisistä ammatillisista eroista tai mielipideeroista. Kuitenkin tarkastuksilla on pyrittävä tasalaatuisuuteen ja tarkastusten oikeellisuuteen. Sähköverkkoyhtiölle jää käytettäväksi vain dokumentoidut tulokset, eikä tulosten oikeellisuutta voida varsinaisesti tarkastaa jälkikäteen, pois lukien lentotarkastukset, joiden materiaali jää sähköverkkoyhtiölle käyttöön. Sähköverkon komponenttien kuntohavainnot ovat käytettävissä pääosin vuodesta 2014 asti. Kuntotarkastuksien mukaisilla alueilla on aina mukana kaiken ikäistä verkkoa, joten kuntohavaintoja saadaan kattavasti.

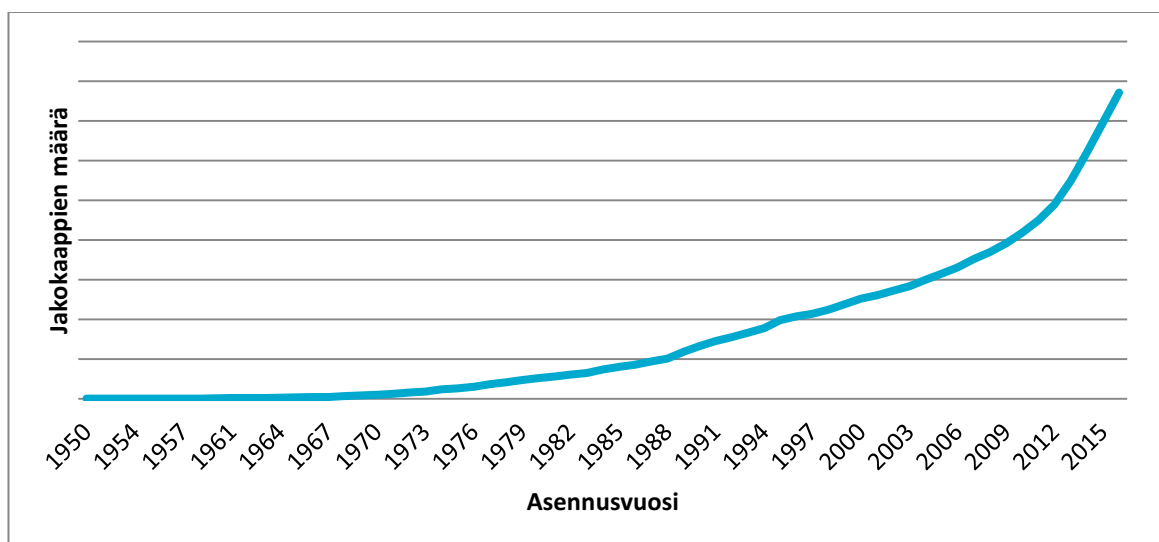
Kuntohavaintojen pääasiallinen tarkoitus on antaa tieto sähköverkkoyhtiölle, onko tarkastettavassa kohteessa jotain korjattavaa ja kuinka kriittistä kohteen korjaus on. Kuntohavaintoja ei verkkotietojärjestelmään dokumentoitaessa selitetä ja selvitetä yksityiskohtaisemmin. Tarvittaessa selityskenttään lisätään pieni kuvaus viasta tai puutteesta.



Esimerkiksi vian tai puutteen mahdollista aiheuttajaa ei käsitellä. Kuntohavainnot perustuvat yksikköhinnoilla tilattaviin korjaustöihin

#### 4.4.1 Jakokaapit

Pienjännitejakokaapit tarkastetaan Elenian kunnonhallintastrategian mukaisesti kahdeksan vuoden välein. Tarkastuksilla jakokaapeista saadaan kattavasti eri havaintoja, liittyen jakokaapin kuntoon ja turvallisuuteen. Työssä on käytetty vuosien 2015, 2016 ja 2017 jakokaappien tarkastustuloksia ja niiden perusteella tehtyjä työtilauksia. Jakokaappeja on kyseisinä vuosina tarkastettu noin 12000 kpl ja tarkastuksissa on aina erilaisia ja eri-ikäisiä kaappeja koko verkkoalueelta. Korjattavia kuntohavaintoja kaikista tarkastuksista löydettiin yhteensä 1868 kappaletta. Elenian verkkoalueen jakokaappien määrä lisääntyy eksponentiaalisesti verkon maakaapeloinnin myötä. Nyt verkossa oleva jakokaappikanta on pääosin muutaman vuosikymmenen takaa, eikä suinkaan käyttökänsä loppupäässä. Jakokaappien kumulatiivinen määrä verkossa on esitettynä kuvassa 10.

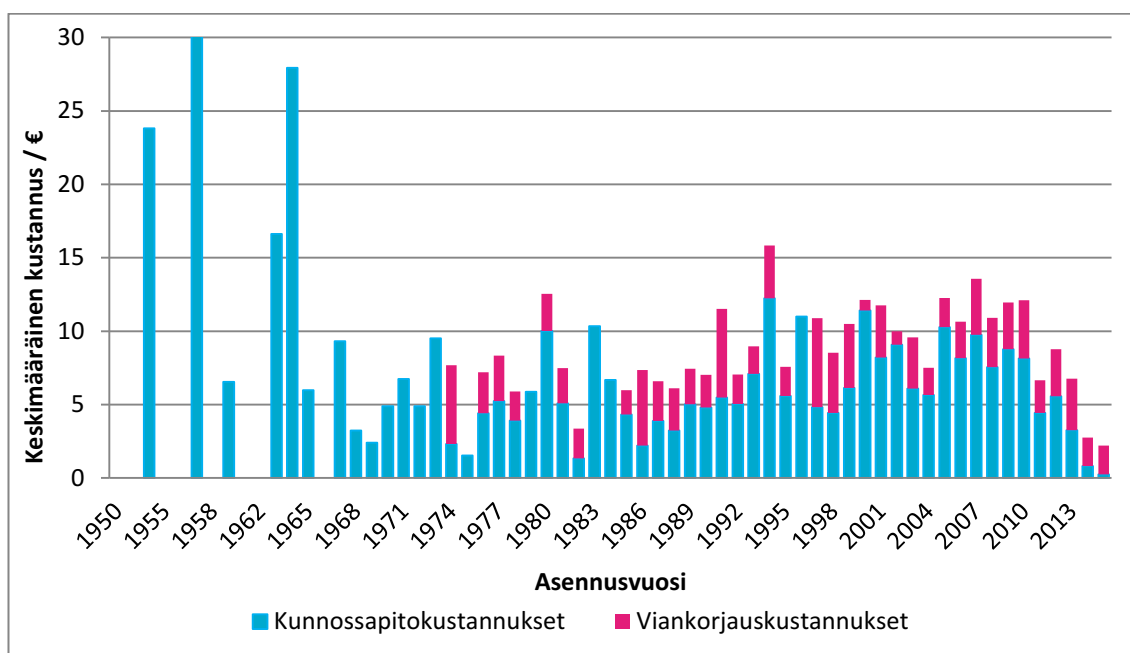


Kuva 10. Jakokaappien kumulatiivinen määrä Elenia Oy:n jakeluverkossa

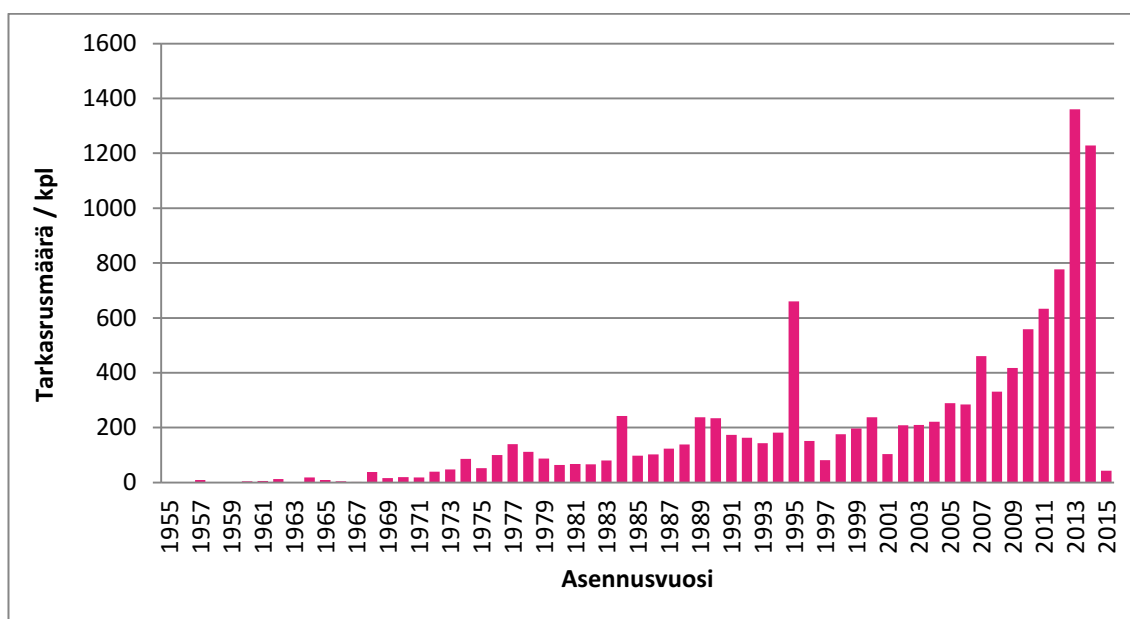
Elenia on vaihtanut verkonrakennuksessa käytettyjen jakokaappien tyyppiä perinteisistä metallikuorisista kaapeista komposiittirakenteisiin (lasikuituvahvistettu polyesteri) vuonna 2017. Uudet jakokaapit ovat lasikuituvahvistettua polyesteriä. Uusien jakokaappien kuntoon tuleekin kiinnittää tulevaisuudessa sähköverkon tarkastuksissa huomiota, koska ne ovat tällä hetkellä uudentyyppinen komponentti, josta Elenialla ei ole laajamittaista kokemusta omassa toiminnassaan.

Jakokaappien aiheuttamat korjauskustannukset niiden asennusvuoden mukaan on esitetty kuvassa 11. Jakokaappien asennusvuosi ja muut tyyppitiedot ovat dokumentoituna verkkotietojärjestelmään. Kaapeille tilattujen kunnossapitotöiden keskihinnoilla ja tarkastettujen jakokaappien määrän avulla saatiin muodostettua kustannusten kuvaaja. Ku-

vaajaan on lisättyä myös jakokaappien aiheuttamat viankorjauskustannukset. Kuvaajassa on huomioituna jakokaappien keskimääräiset kustannukset ja tarkastettujen jakokaappien lukumäärät, jotka ovat esitettynä edellä kuvassa 12.



Kuva 11. Jakokaappien keskimääräiset kustannukset kaapin asennusvuoden mukaan



Kuva 12. Tarkastettujen jakokaappien määrät asennusvuoden mukaan

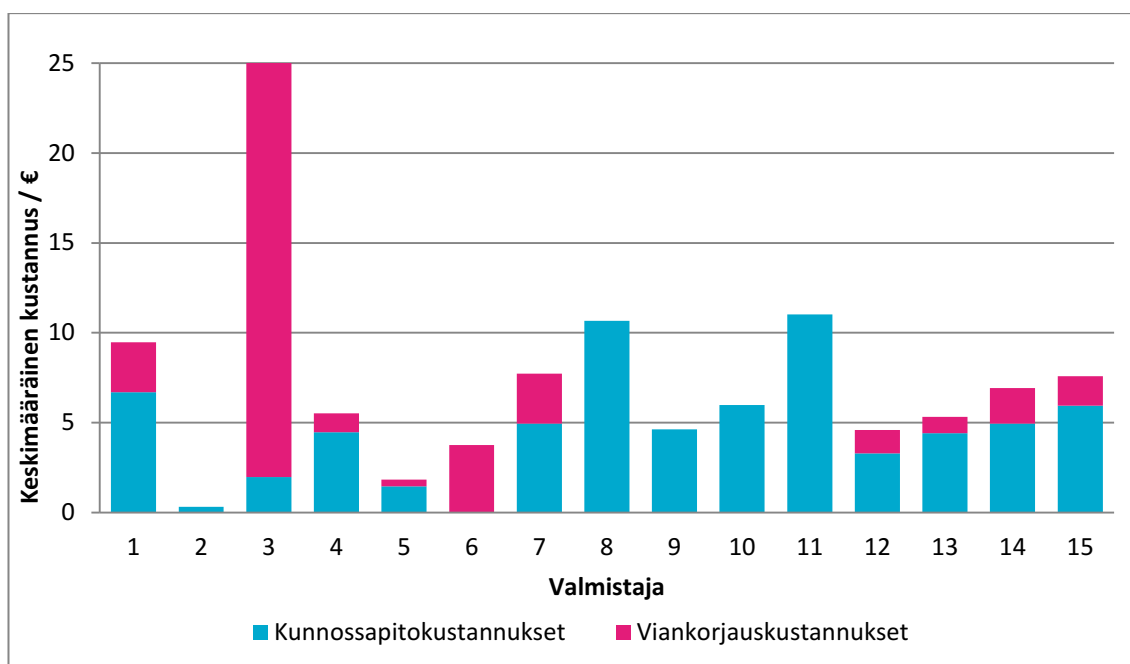
Kuvassa 10 kuvaajan vasemmassa reunassa olevat korkeat palkit johtuvat jakokaappien vähäisestä määrästä. Vuosien 1950 - 1965 aikana asennettuja kaappeja on tarkastettu vain muutamia ja lähes jokaiselle näistä on tilattu kunnossapitotöitä, joten keskimääräinen kustannus on verrattain korkea. Kuvaajaan lisättiin myös jakokaappien viankorjauskustannukset asennusvuoden mukaan. Viankorjauskustannukset ovat suhteutettuna

jakokaappien kokonaismäärään verkossa. Vioista aiheutuneet kulut pysyvät keskimäärin yhtä suurina mentäessä uusia jakokaappeja kohti.

Tarkastettujen jakokaappien määrät käyttäytyvät verkon iän mukaan kasvavasti, uusien jakokaappien määrä verkossa kasvaa, joten myös suurin osa tarkastettavista kaapeista on uusia. Jakokaappien kunnossapitokustannuksissa on nähtävissä pieni laskeva trendi tarkastusmäärien kasvaessa aivan uusimmilla jakokaapeilla. Suhteellisia eroja jakokaappien kunnossapitokustannuksissa esiintyy huomattavasti. Erot jakaantuvat kuitenkin tasaisesti kaikille vuosiluvuille, joten erityisesti massasta poikkeavia tapauksia ei esiinny.

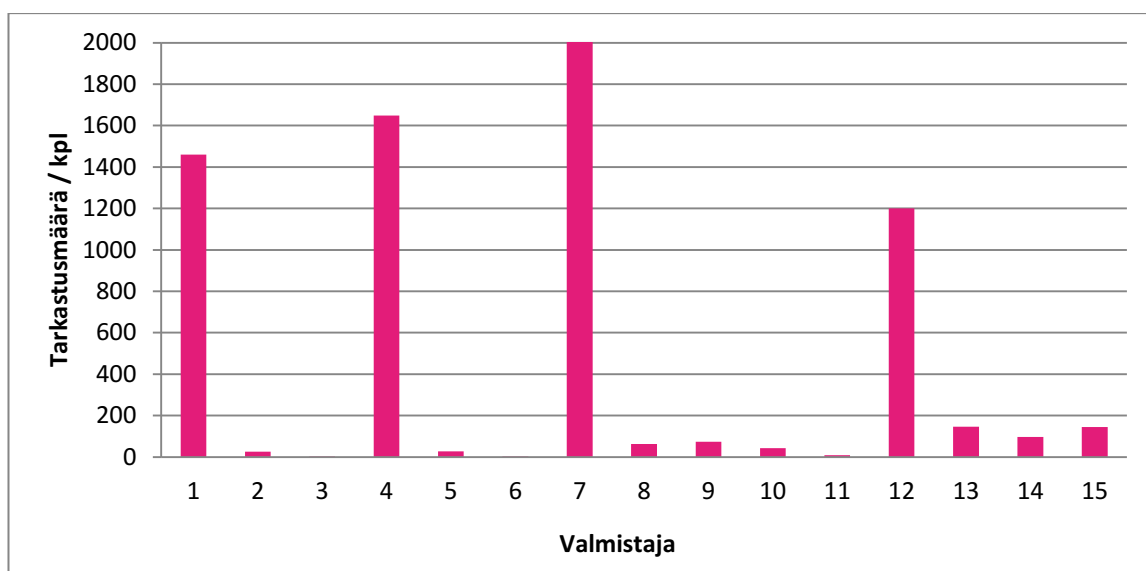
Yleisimpiä yksittäisiä kunnossapitohavaintoja tarkastuksissa ovat jakokaapin oikaisutarve (27 %) ja merkintäpuutteet (24 %). Muita havaintoja ovat erilaiset jakokaapin kunnossapitotyöt (36 %) ja perushuoltotarve (12 %). Jakokaappien mahdollisia rakenteellisia virheitä ei tarkastustulosten perusteella pystytä erottelamaan. Tällaisia vikoja voisivat olla muun muassa jakokaapin virtakiskoston, lukituksen, varokekytkimien ja koteloinnin viat. Näistäkin havainnoista tulosten mukaan dokumentoinnista käy ilmi, että suurin osa on ulkopuolisen tekijän aiheuttamia vahinkoja. Eli kaapissa on ulkoisia vaurioita väärän käsittelyn tai esimerkiksi törmäyksen tai lumen aurauksen vuoksi. Mahdollisia rakenteellisia vikoja tarkastuksissa todettiin 88 kpl eli noin 5,4 % kaikista havainnoista. Tarkastusten kevyestä kuvauksesta johtuen ei voida kuitenkaan päätellä, johtuvatko viat komponentin rakenteesta vai esimerkiksi virheellisestä asennuksesta tai käytöstä. Jakokaappien pientöihin sisältyy kaikki sellaiset työt, jotka eivät vaadi oikaisua, merkintätyötä tai perushuoltoa (puhdistus). Yleisimpiä kunnossapitotöitä olivat liian vähäinen maantäyttö jakokaapin sisällä, väärät sulakekoot ja vääntyneet liittimet ja kaapelit seurauksena.

Jakokaappien korjauskustannuksia tarkasteltiin myös valmistajan mukaan. Eri valmistajien keskimääräiset kunnossapitokustannukset tarkastetuille kaapeille saatiin valmistajan asennettujen kaappien lukumäärän ja pientyötilausten kustannusten avulla. Kustannukset on esitetty kuvassa 13. Samaan kuvaajaan on lisätty myös jakokaapeille aiheutuneet viankorjauskustannukset. Nämä ovat suhteutettuna jakokaappien kokonaismäärään, jolloin ne saadaan vertailukelpoisiksi.



Kuva 13. Keskimääräiset korjauskustannukset valmistajittain

Kuvaajasta on poistettu valmistajat, joiden jakokaappeja oli tarkastettu vain muutamia tai yksittäisiä. Tällöin ei voida saada vertailukelpoista kuvaa jakokaappien todellisista kustannuksista. Kuvassa 14 on esitetty tarkastettujen jakokaappien määrät valmistajittain, jotta korjauskustannuksia voidaan suhteuttaa tarkastettujen jakokaappien lukumäärään.



Kuva 14. Tarkastettujen jakokaappien määrät valmistajittain

Kuvaajista nähdään, että suuria poikkeamia valmistajien keskuudessa ei myöskään ole. Muutamit yksittäiset kuvaajan korkeat arvot keskiarvoellisissa korjauskustannuksissa johtuvat epätavallisesta valmistajasta, jonka muutamalla jakokaapilla on ollut kallis oikaisutarve, joten näistäkään ei voida pienen otantamäärän (kuva 13) takia tehdä oletta-

mia. Lukumäärällisesti kaappeja on tarkastettu neljällä valmistajalla (valmistajat 1, 4, 7 ja 12) riittävä määrä vertailukelpoisten tulosten saamiseksi. Kustannusten kuvaajasta nähdään, että näiden valmistajien keskimääräiset kustannukset ovat lähellä toisiaan. Valmistajan numero 1 jakokaapeilla on huomattavasti korkeampi kustannusarvo kuin muilla vertailukelpoisilla. Kyseisen valmistajan jakokaappien tarkastustulosten todettiin olevan jakautuneen tasaisesti kaikentyyppisiin korjaustoimenpiteisiin, eikä tuloksista löydetty muihin verrattuna poikkeamaa. Jakokaappeja joille valmistajaa ei ole dokumentoitu, on tietokannassa 8,8 % kaikista. Ikätieto puolestaan löytyy lähes jokaiselta dokumentoidulta jakokaapilta, joten jakokaappien kokonaismassan puolesta tuloksia voidaan pitää merkityksellisinä.

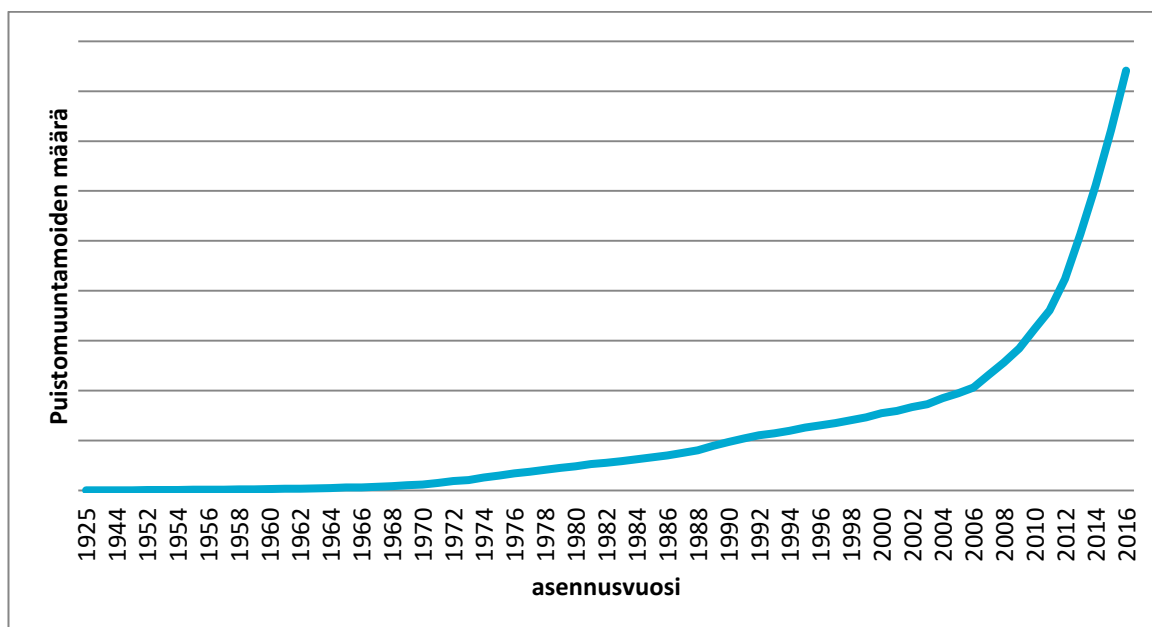
Jakokaappien kuntohavaintojen perusteella voidaan todeta suurimman osan jakokaappien korjaustöistä johtuvan asennuksesta ja ympäristöstä. Suurimpina osuuksina havainnoista todettiin olevan jakokaappien oikaisutarve, eli jakokaappi on kallellaan ja täten vaatii suorituksen. Varsinkin jakokaapin oikaisutarve muiden tulosten ohella voi aiheuttaa eroja tarkastajien välillä. Kallistumalle ei ole määritetty tiettyä rajaa, jolloin oikaisutarve olisi olemassa, joten tämä perustuu vain tarkastajan ammatilliseen näkemykseen ja mielipiteeseen. Jakokaappien oikaisujen osuus jakokaappien kunnossapitokustannuksista on yhteensä 61 % tarkastelluista vuosista. Jakokaapin pieni kallistuma voi olla turvallisuuden ja käyttövarmuuden kannalta täysin sallittua, vaikka jakokaapin kuuluisi olla suorassa asennuksen jälkeen. Nykyisin sähköverkon rakentamisessa osalle komponenteista dokumentoidaan myös sen asentanut urakoitsijakumppani, joten tulevaisuudessa asennuksesta johtuviin puutteisiin voidaan mahdollisesti puuttua tehokkaammin. Merkintätöitä todettiin lukumäärällisesti olevan myös paljon, mutta merkintätöitä eivät pienestä työstään johtuen ole iso osa kokonaiskustannuksista. Loput kustannuksista aiheutuvat jakokaappien erilaisista pientöistä ja perushuolloista. Yleisimpiä pientöitä aiheuttaa jakokaapin täyttö ja kaapeleiden huono kiinnitys vedonpoistoon. Perushuollot koostuvat pääosin tilauksista jossa jakokaapilla on tehtävänä monta pientyön vaatimaa puutetta, esimerkiksi vajaa täyttö, virheelliset merkinnät ja heikko kaapeleiden kiinnitys. Joten tarkempia lukumääriä eri puutteille ei saada tuloksista.

Verkon vikatiedoissa jakokaapeille merkittyjä rakennevikoja löydettiin yhteensä 94 kpl. Rakenteellisia vikoja voi olla merkitty virheellisesti myös muille vikatyypeille. Näitä ei kuitenkaan saada suodatettua tuhansista muista vioista esille. Vian kuvaus -kentässä vapaalla tekstillä on esitetty vika ja vian aiheuttaja hyvin vaihtelevasti. Yleisin vikaantumisen syy on selkeästi löysä liitos kaapelissa tai jonovarokekytkimessä ja tuntemattomasta syystä palaneet sulakkeet. Yhteneväisyyksiä jakokaappien vikaantumiselle tai rakenteellisesti vikaantuvia kaappityyppejä ei löydetty vikatietojen perusteella. Jakokaappien kunnossapitoaineiston perusteella tarkastusten määräaikojen muuttamista tai kunnossapitotarkastusten kohdentamista komponenttien iän tai valmistajan mukaan ei ole perusteltua tehdä. Myöskään sijainnin tai urakoitsijan mukaan ei havaittu yhtäläisyyksiä kuntotietoja tarkasteltaessa.

#### 4.4.2 Puistomuuntamot

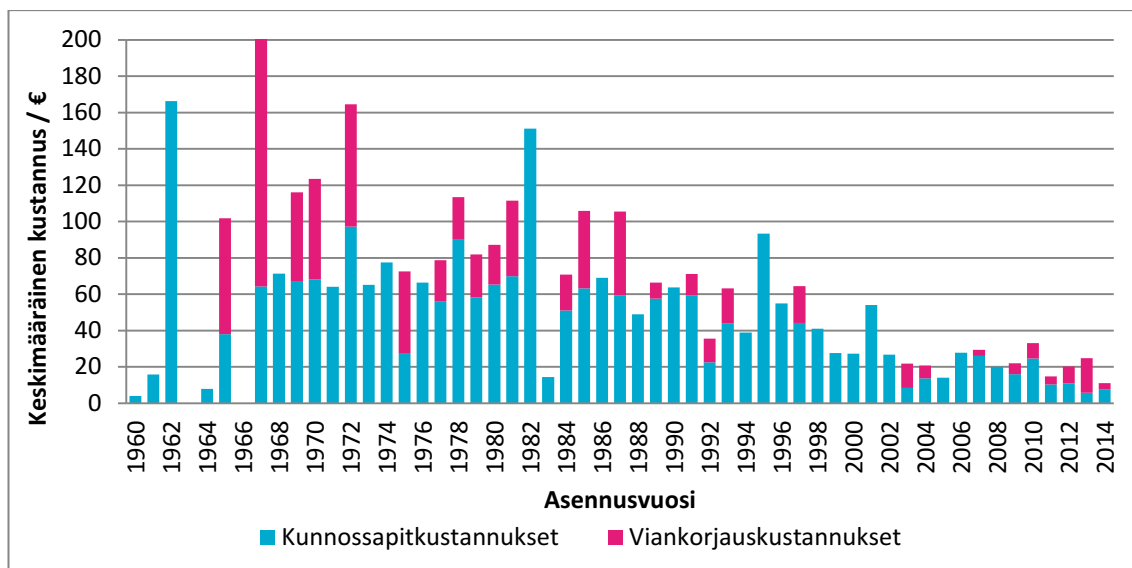
Keskijänniteverkon jakelumuuntamoita uusitaan ja rakennetaan lisää kiihtyvää tahtia sähköverkon maakaapelointi-investointien myötä. Muuntamoista vain rakennus- ja puistomuuntamot ovat verkon kävelytarkastusten piirissä. Vanha muuntamokanta on pääosin ilmaeristeisiä pylväsmuuntamoita ja nykyisin verkkoon rakennetaan vain suljetulla rakenteella varustettuja puistomuuntamoita. Eli metalliseen tai lautavuorattuun rakenteeseen sijoitettuja muuntajia ja kojeistoja. Muuntamoiden kumulatiivinen määrä Elenin verkossa on esitettyä kuvassa 15.

Työssä käytettiin vuosien 2013 - 2017 jakeluverkon puistomuuntamoiden tarkastustulosten tilaustöitä. Korjattavia kohteita kyseisten vuosien tarkastuksissa havaittiin yhteensä noin 1500 kpl kaikille muuntamoille ja tarkastettavia muuntamoita oli noin 5000 kpl. Tarkastuksissa on käyty läpi kattava määrä erilaisia muuntamoita eri vuosilta, joten muuntamoiden kunnosta on saatu kattava kuva.



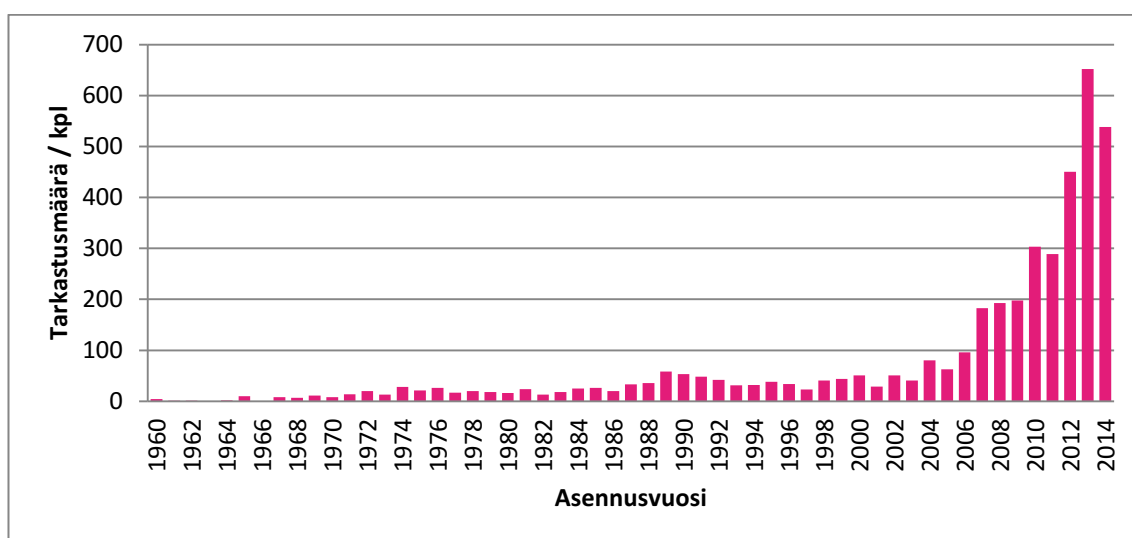
Kuva 15. Puistomuuntamoiden kumulatiivinen määrä

Kuvaajasta nähdään, että uusien puistomuuntamoiden määrä kasvaa rajusti verkon maakaapeloinnin myötä. Vaikka maakaapeloinnin myötä myös purkautuu vanhoja pylväsmuuntamoita, rakennetaan uusia tilalle huomattavasti enemmän. Muuntamoiden aiheuttamat kunnossapitokustannukset koottiin kaikilta tilausvuosilta yhteen ja niistä saatiin muodostettua keskiarvolliset korjauskustannukset asennusvuoden mukaan, joka on esitettyä kuvassa 16. Kuvaan on lisätty myös puistomuuntamoiden aiheuttamat viankorjauskustannukset käytöntukijärjestelmästä.



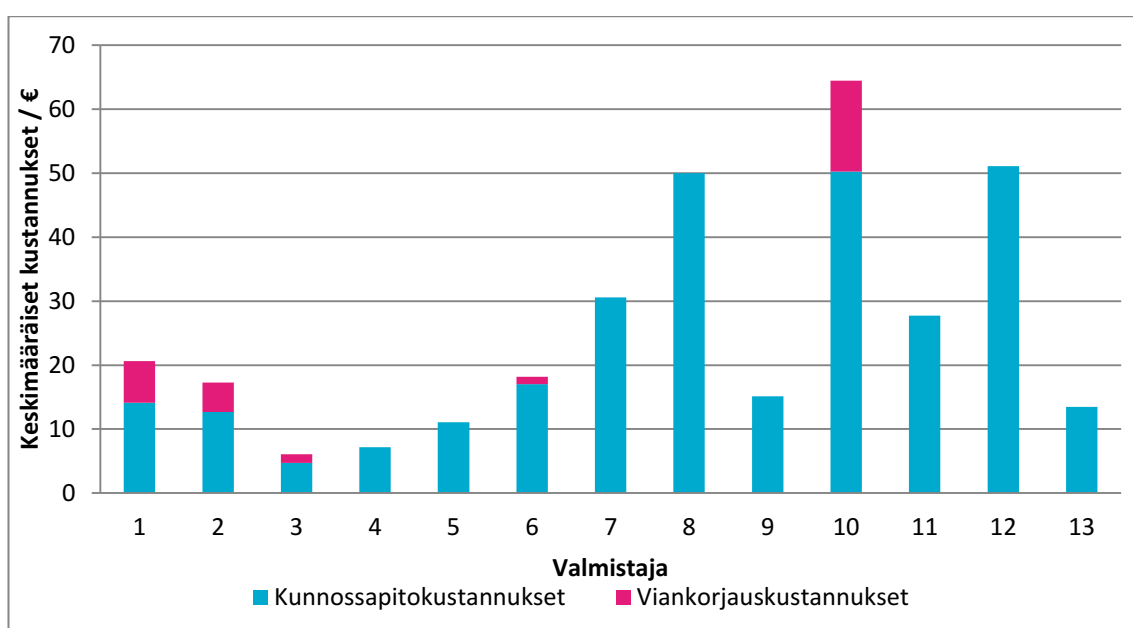
Kuva 16. Puistomuuntamoiden keskimääräiset korjauskustannukset asennusvuoden mukaan

Puistomuuntamoiden keskimääräisissä kunnossapitokustannuksissa esiintyy selvästi enemmän vaihteluita kuin esimerkiksi jakokaapeilla. Hajontaa esiintyy suhteellisesti erittäin paljon ja tasaisesti lähes koko massalla. Muutamat yksittäiset vuodet, 1962 ja 1982 nousevat muista erilleen selkeästi. Vuoden 1962 muuntajia on tarkastettu vain 1 kappale ja kyseiselle muuntajalle on tehty kallis pientyö, joten arvo on verrattain korkea, mutta ei vertailukelpoinen. Muuntamoiden viankorjauskustannukset saatiin suhteuttamalla muodostuneet summa puistomuuntamoiden kokonaismäärään. Kuvaajasta nähdään selvästi laskeva kustannusten trendi kohti uusia muuntamoita sekä kunnossapito, että viankorjauskustannuksissa. Muuntamoiden tarkastusmäärät asennusvuoden mukaan on esitettyä kuvassa 17.



Kuva 17. Puistomuuntamoiden tarkastusmäärät

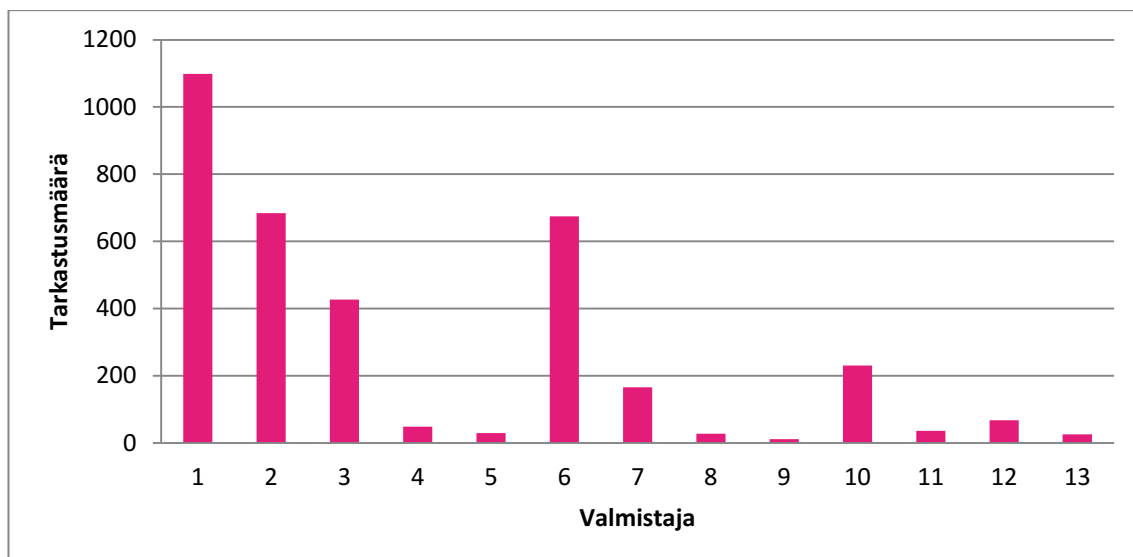
Tarkastusmäärät noudattavat verkon ikäjakauman trendiä selkeästi. Suuri osa verkosta alkaa olla uutta, joten suurin osa myös tarkastetuista komponenteista on uudehkoja. Esille nousee vuoden -82 muuntamoiden tarkastustuloksista ei havaittu poikkeamia muihin verrattuna. Kyseisen vuoden muuntajia on tarkastettu 13 kappaletta ja lähes jokaiselle muuntajalle on tilattu perus kunnossapitotöitä (merkintäpuutteita, puhdistusta, perushuoltoa). 1982 vuoden puistomuuntamoita on dokumentoitu olevan yhteensä 25 kappaletta koko verkossa. Kunnossapitohavaintoja on suhteellisesti muuntamoiden määrään verrattuna paljon mutta havaintojen laatu on kuitenkin samankaltaista muiden kanssa, eikä mikään tyyppi ole selkeästi esillä muihin verrattuna. Puistomuuntamoiden kunnossapitokustannuksia tarkasteltiin myös niiden valmistajan mukaan. Kuvaaja on esitettyä kuvassa 18. Kuvaajaan on lisätty myös muuntamoiden aiheuttamat viankorjauskustannukset valmistajittain.



Kuva 18. Puistomuuntamoiden keskimääräiset korjauskustannukset valmistajittain

Valmistajien keskuudessa kunnossapitokustannuksissa esiintyy paljon vaihteluita. Kuvassa 19 on esitettyä tarkastetut määrät valmistajittain, jotta kustannusten tuloksista saadaan vertailukelpoisia keskenään. Valmistajaa ei ole dokumentoitu noin 16 %:lle verkossa olevista puistomuuntamoista. Mikäli muuntamoita on verkossa vain muutamia kymmeniä kokonaisuudessaan, tai niitä on tarkastettu niin vähän, ei tuloksia voida pitää vertailukelpoisina. Vertailuun otettiin mukaan valmistajat joiden muuntamoita on tarkastettu vähintään noin 200 kappaletta.





Kuva 19. Puistomuuntamoiden tarkastusmäärät valmistajittain

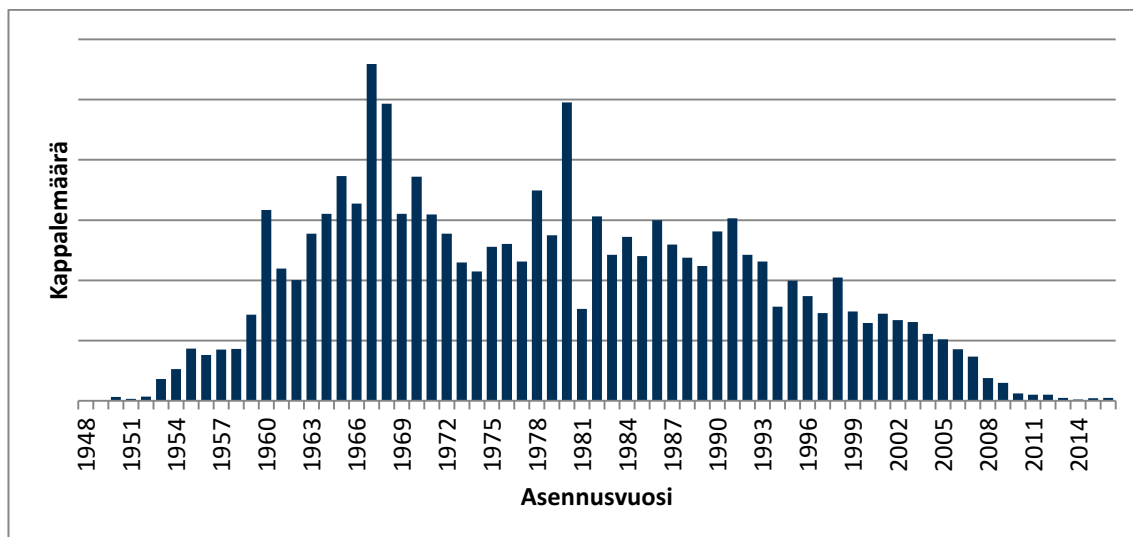
Valmistajien 7 ja 10 muuntamoilla on selkeästi muita vertailukelpoisia valmistajia suuremmat kunnossapitokustannukset. Kyseisten valmistajien muuntamoita on tarkastettu vähemmän, mutta kokonaismäärä näillä valmistajilla on myös selkeästi pienempi joten, melkein kaikki valmistajan muuntamot on tarkastettu kyseisenä aikavälinä. Valmistajan 3 muuntamoiden keskimääräiset kunnossapitokustannukset olivat selvästi kaikista pienimmät. Tarkastustuloksia tarkasteltaessa ei kuitenkaan nouse esille mitään muusta massasta poikkeavaa kunnossapitohavaintoa, joka selittäisi erot kustannuksissa. Havainnot koostuvat pääosin merkinäpuutteista ja epäsiisteydestä. Kaikkien puistomuuntamoiden kunnossapitotyöt jakaantuvat pääosin kolmeen luokkaan, merkinätoihin, pientöihin ja perushuoltoon, ja kunnossapidosta aiheutuvat kustannukset jakautuvat edellä mainittuihin noin 3 %, 65 % ja 32 %. Muuntamon pientyöhön ja perushuoltoon sisältyy usein monia pienempiä töitä, jotka tilataan samalla yksiköllä. Yksityiskohtaisempia erittelyitä kuntotarkastuksissa todetuissa puutteissa kirjataan vapaaseen tekstikenttään hyvin vaihtelevasti. Tästä johtuen tarkempaa erittelyä ei aineistosta saada tehtyä.

Jakelumuuntamoiden rakennevioiksi on kirjattu yhteensä 235 vikaa käytöntukijärjestelmään, joista 98 tapaukselle on liitetty erityiskohde eli keskeytys on kohdistettu tiettyyn komponenttiin käytöntukijärjestelmässä. Komponenttien vioissa ei havaittu yhteneväisyyksiä valmistajien tai iän mukaan. Yleisesti tutkittaessa koko massaa todettiin muuntajien kunnossapidon ja viankorjauksen aiheuttavan enemmän kustannuksia vanhemmilla muuntamoilla (kuva 16).

#### 4.4.3 KJ-pylväät

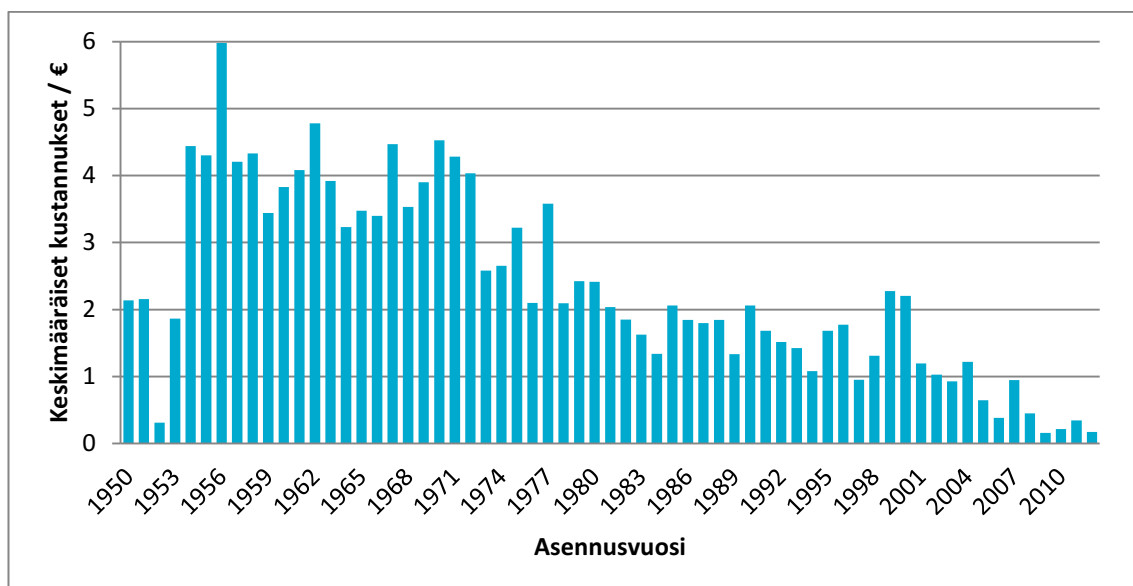
Keskijänniteverkon pylväitä tarkastetaan Elenian verkossa lentokuvauksin neljän vuoden välein. Ilmakuvausten perusteella pylväillä dokumentoidaan kuntohavaintoja ja

edelleen tilataan kunnossapitotöitä. Työssä käytettiin vuosien 2013 - 2015 lentokuvausten tarkastustuloksia, joissa on lentotarkastettu lähes koko verkkoalue ja pylvälle on tilattu yhteensä noin 7500 yksittäistä kunnossapitotyötä. Keski-jänniteverkon pylväiden ikäjakauma asennusvuoden mukaan on esitetty kuvassa 20.



Kuva 20. Keski-jännitepylväiden ikäjakauma

Suurin osa keski-jänniteverkon pylväistä on suhteellisen vanhaa, koska sähköverkon rakentaminen ja yhteiskunnan sähköistäminen on painottunut 60 - 80 luvuille. Kunnossapitotöissä tarkasteltiin kunnossapitotöiden tyyppejä, määriä ja niiden jakaantumista eri pylvästyypeille ja vuosille. Kuvassa 21 on esitettyä kunnossapitokustannusten jakaantuminen pylväiden asennusvuoden mukaan.

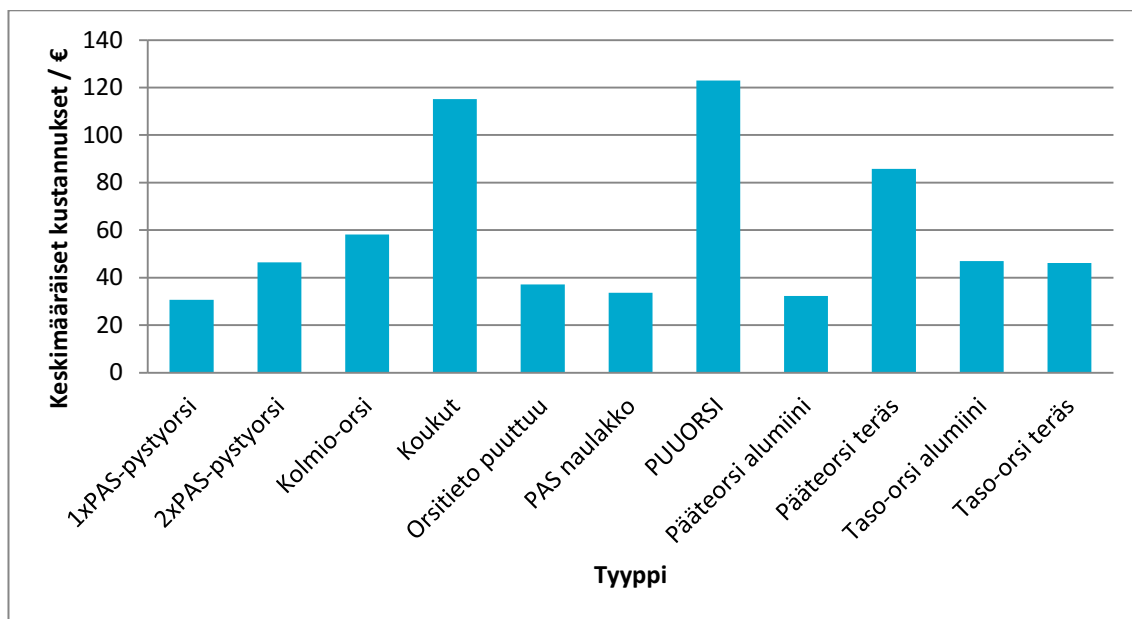


Kuva 21. Kunnossapitokustannusten jakaantuminen keski-jännitepylväille

Keskijänniteverkon lentotarkastuksissa on tarkastettu vuosittain yksi kolmas osa Elenin verkosta. Kyseisissä tuloksissa on siis käyty läpi koko verkkopituus ja kunnossapitokustannukset ovat suhteutettuna koko pylväsmäärään. Pylväillä nähdään selkeä lasku kunnossapitokustannusten trendissä. Kaikista vanhimpien pylväiden vähäisiä keskimääräisiä kustannuksia voi selittää pylväiden vähäinen määrä.

Pylväiden kunnossapitokustannusten nähdään noudattavan verkon ikäjakamaa erittäin hyvin, kunnossapitokustannuksia ovat suuremmat, mitä enemmän asennettuja pylväitä kyseisenä vuotena on. Lasku kustannuksissa nähdään noin 40 - 50 vuotta vanhoilla pylväillä, eli 70-luvun alussa. Vanhempien pylväiden rakenteet alkavat hajota, jolloin korjaus ja vaihtotarpeita ilmenee enemmän. Suurimpina kuluina todettiin olevan merkintäpuutteet (30 %), pylvään vaihtotarpeet (30 %) ja oikaisutarpeet (13 %). Kunnossapitotöitä tarkasteltiin pylväiden iän, alueen ja rakenteiden mukaan. Yksityiskohtaisempaa erittelyä vikaantumisesta ei saada tehtyä, johtuen kuntohavaintojen rajallisesta määrästä. Samalle havaintoarvolle voidaan merkitä monen tyyppisiä vikoja, jotka korjataan samalla yksiköllä, joten kaikille mahdollisille vioille ei ole määritetty omia havaintoja.

Tarkasteltaessa pylväiden eri rakenteiden vikaantumisia, todettiin orsirakenteissa olevan selviä eroja tietyillä rakennetyypeillä. Orsirakenteiden kunnossapitokulujen vertailu on esitettyä kuvassa 22.



Kuva 22. KJ-pylväiden orsirakenteiden vertailu

Tarkastelu saatiin selville selvästi riskialttiimmat puu- ja koukkuorsirakenteet. Teräksien pääteorsien tuloksia ei voida vertailla muihin orsirakenteisiin, koska pääteorren omaavalle pylvälle dokumentoidaan lukuisia muita vikatyyppejä ja vikakohteita, kuin pelkkiä pylvään vikoja, esimerkiksi kaapelipäätteen ja haruksien puutteita. Koukku- ja puuorret aiheuttavat selvästi muita rakenteita enemmän kunnossapitokustannuksia. Nä-

mä riskialttiit rakenteet sijoittuvat pääosin 1960- ja 70-luvuille, joten pylväiden käyttöikäkin on aivan loppupäässään. Saatuja tuloksia voidaan hyödyntää muodostettaessa KJ-pylväiden kuntoindeksiä, jossa kyseiset rakennetekijät saadaan korostettua pisteyttämällä. Vanhojen pylväiden korkeammissa kunnossapitokustannuksissa näkyy myös huonommat rakenteet, joiden rakennus aika sijoittuu pääosin 1950 - 1960-luvuille. Kuvassa 23 on esitettyä koukkuorsi-rakenne ja kuvassa 24 puuorsi.



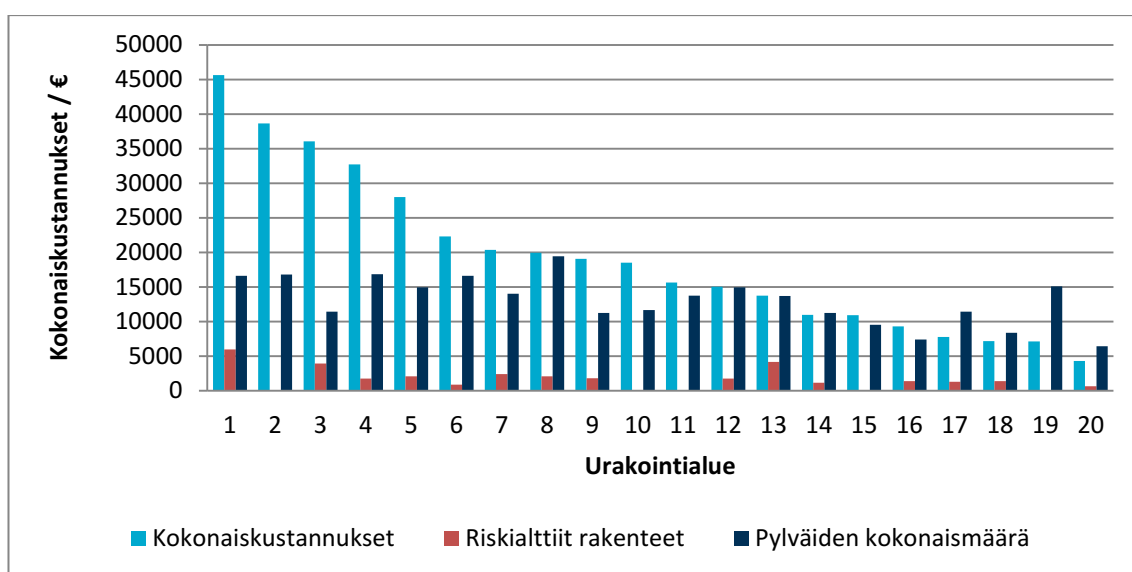
Kuva 23. Keskijännitepylväs koukkuorsilla vuodelta 1971



Kuva 24. Keskijännitepylväs puuorrella vuodelta 1951

Pylväille liitettyjä keskijänniteverkon vikoja on yhteensä 249 kappaletta järjestelmässä. Suurin osa vioista johtuu rakennevioista, ulkopuolisten aiheuttamista vaurioista pylväille ja haruksille tai puiden kaatumisesta linjoille. Rakennevaurioina pylväillä on lähinnä hajonneita eristimiä ja orsia. Pylväiden rakennevioiksi käytöntukijärjestelmässä on kirjattu vain 69 kappaletta vikoja ja ne jakaantuvat tasaisesti pylväiden iän suhteen, eikä mitään poikkeavaa nouse esille. Suurin osa keskijänniteverkon vioista kohdistetaan käytöntukijärjestelmässä johto-osalle eri varsinaisille johtimille esimerkiksi kaatuneiden puiden seurauksena.

Keskijänniteverkon kokonaisuudessaan aiheuttamia kunnossapitokustannuksia tutkittiin myös alueellisesti. Elenian verkkoalue on jaettu kahteenkymmeneen eri urakointialueeseen, jotka toimivat samalla ikään kuin omana kunnossapitoalueenaan, jolla on sopimuksella määritelty urakoitsijakumppani. Kokonaiskuluissa saatiin selville merkittäviä eroja alueiden välillä. Alla kuvassa 25 on esitettyä eri urakointialueiden kunnossapitokustannukset lajiteltuna kokonaiskulujen mukaan keskijännitepylväille. Kuvaajaan on lisättyä myös riskialttiimpien rakenteiden (koukku ja puuorret) määrät ja pylväiden kokonaismäärät alueittain. Kyseisiä rakenteita tutkittiin, koska niillä todettiin olevan oleellisesti enemmän kunnossapitokustannuksia muihin verrattuna.



Kuva 25. Urakointialueiden kunnossapitokustannukset keskijännitepylväiden osalta

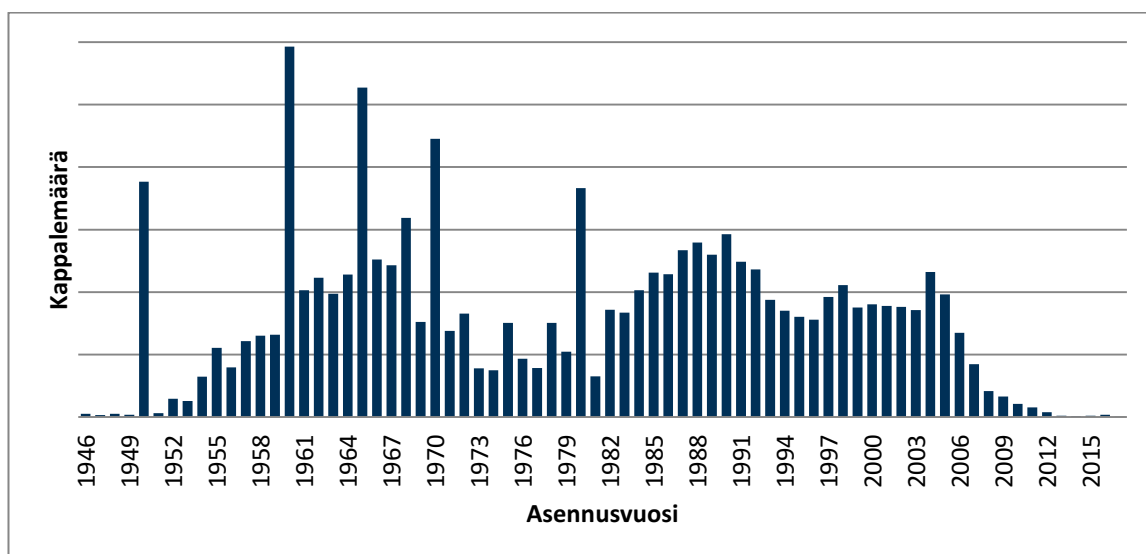
Tulokset sellaisenaan eivät ole vertailukelpoisia, sillä jokaisella alueella on eri määrä jakeluverkkoa ja erityyppisiä komponentteja. Tarkastelussa pyrittiin havainnoimaan kuitenkin nouseeko massasta esille jotain poikkeavaa. Tutkittaessa komponenttien määrää ja rakenteita, ei nähdä selkeää riippuvuussuhdetta riskialttiiden komponenttien ja pylväsmäärien suhteen. Keskijänniteverkossa dokumentointipuutteita esiintyy varsinkin pylväsrakenteissa, joten kuvaajan tietoja ei voida tehokkaasti hyödyntää. Alueellisissa kunnossapitokustannuksissa esiintyy kuitenkin paljon vaihteluita eri alueiden välillä, vaikka verkon määrä olisikin suhteellisen lähellä toisiaan. Elenian kunnossapitotieto-

kannasta ei saatu selville korkeiden kustannusten aiheuttajia. Keskijännitepylväiden dokumentointipuutteet voivat olla merkittävänä syynä tähän.

Kuvassa 25 oleva toiseksi suurimmat kunnossapitokustannukset omaava alue 2, sisältää tunnetusti paljon riskialttiita rakenteita, mutta kyseisen alueen pylväiden orsitietoja ei ole dokumentoitu. Kuvasta nähdään suuria eroja kustannuksissa alueiden välillä, vaikka pylväiden kokonaismäärä ja keskimääräinen ikä on samaa luokkaa (esim. alueet 2 ja 19). Tutkittaessa alueiden kuntohavaintoja ja kunnossapitotilauksia todettiin isoja eroja pylväiden vaihtojen tilausmäärissä. Tähän ei kuitenkaan löydetty suoranaista syyseuraus suhdetta, sillä muun muassa orsien ja kyllästystavan tietoja ei ole riittävästi hyödynnettävissä. Lukumäärällisesti kunnossapitotöitä on tilattu samaa suuruusluokkaa pylväsmäärän mukaan. Kunnossapitotöissä ei myöskään ole tehty alueellista kohdentamista tai priorisointia vaan on pyritty hoitamaan kaikki havainnot aina kuntoon alueilta. Keskijännitepylväiden analyysin tuloksia saadaan hyödynnettyä edelleen kuntoindeksiä muodostettaessa. Pisteytyksessä saadaan korostettua riskialttiit rakenteet ja analyysin perusteella saadaan pylvään iän pohjapisteitys asetettua halutulle tasolle.

#### 4.4.4 PJ-pylväät

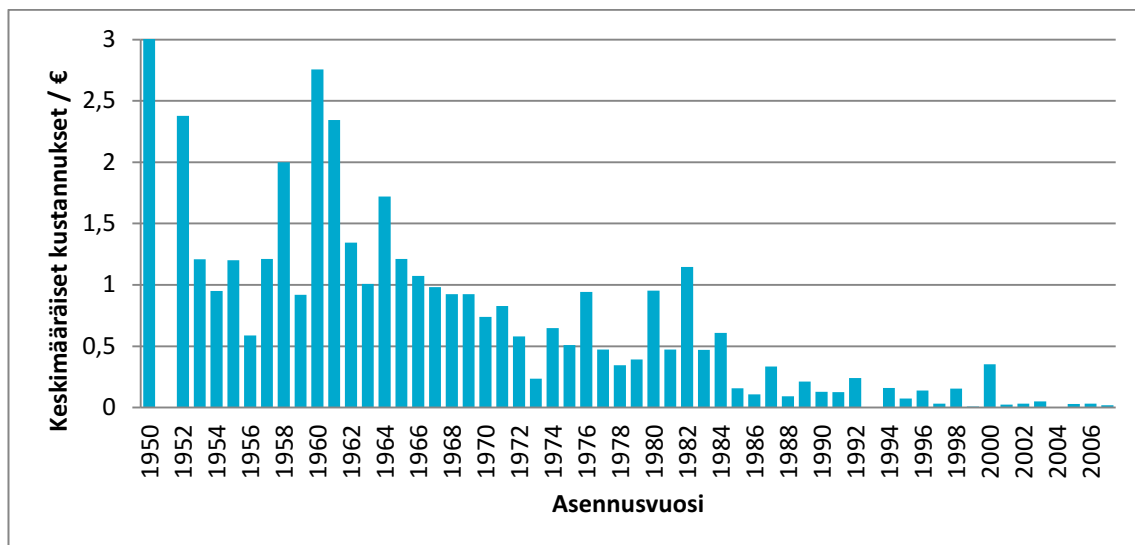
Pienjänniteverkko tarkastetaan kahdeksan vuoden välein kävelytarkastuksin. Pienjänniteverkon pylväille ei ole dokumentoitu muita rakennetietoja kuin pylvästyyppi ja asennusvuosi, joita voitaisiin hyödyntää kunnossapitokustannuksia tarkasteltaessa. Työssä käytettiin vuosien 2014 ja 2015 tarkastustulosten perusteella tilattuja kunnossapitotöitä. Kyseisinä vuosina pienjänniteverkon pylväitä on tarkastettu yhteensä noin 55000 kappaletta, joten verkon kunnosta on saatu kattava kuva. Kuvassa 26 on esitettyä koko pienjänniteverkon pylväiden ikäjakauma.



Kuva 26. Pienjänniteverkon pylväiden ikäjakauma



Kuvassa 27 on esitettyä kunnossapitokustannusten jakaantuminen pienjänniteverkon pylväille asennusvuoden mukaan. Kustannukset ovat suhteutettuna koko pylväsmassaan verkossa.



Kuva 27. Pienjännitepylväiden keskimääräiset korjauskustannukset asennusvuoden mukaan

Kuvaajassa vuosien 1950 ja 1960 korkeita arvoja ei voida pitää todellisina, johtuen mahdollisesta virheestä dokumentoinnissa. Pylväiden kunnossapitokustannukset korreloivat hyvin pylvään iän kanssa, vastaavasti kuin keskijänniteverkon pylväillä. Pylvään vanhetessa, alkaa keskimääräinen korjaushinta kasvaa. Pylväiden aiheuttamien kunnossapitokustannusten mukaan voidaan jakeluverkon kunnossapito-ohjelmaa tarvittaessa muokata paremmin verkkoon sopivaksi. Vanhempien pylväiden korkeat arvot voivat osittain johtua vanhoista vikaherkimmistä rakenteista ja pienjännitteisistä avojohdoista, joiden rakentaminen on sijoittunut aikanaan 1950- ja 1960-luvuille. Kuitenkin osa vanhoista pylväistä ei enää ole avojohdolinjaa, sillä vanhoja avojohdoja on korvattu paljon muovieristeisellä AMKA-riippukierrejohtimella. Pienjännitepylväiden kuntotietojen analysoinnista saatiin muodostettua hyvä kuva pylvään asennusvuoden vaikutuksesta sen aiheuttamiin kunnossapitokuluihin. Tätä tulosta hyödynnetään määritettäessä kuntoindeksiä pienjännitepylväille.

## 5. KUNTOINDEKSOINTI

Toisena tavoitteena diplomityössä oli määritellä ja ottaa käyttöön Trimble NIS -verkkotietojärjestelmässä oleva kuntoindeksi-työkalu osaksi Elenian prosesseja. Kuntoindeksi otetaan käyttöön useille jakeluverkon komponenteille, kuten jakokaapit, muuntamot ja pylvää. Indeksioinnin perustaksi laaditaan komponenttien pisteytysmalli ja indeksi otetaan käyttöön ja mukaan Elenian operatiiviseen toimintaan.

Kuntoindeksityökalusta saatiin käyttökokemuksia kahdesta muusta suomalaisesta sähköverkkoyhtiöstä. Molemmissa yhtiössä työkalu otettiin tämän diplomityön kaltaisen tutkimuksen perusteella käyttöön, ja periaatteet työkalun käyttöön ja sen hyödyntämiseen olivat samankaltaisia. Kyseisissä verkkoyhtiöissä työkalu oli otettu käyttöön vuosina 2006 ja 2009, mutta nykyisessä toiminnassa kuntoindeksi ei enää ollut mukana. Se, että onko työkalun hyödyntäminen jäänyt yhtiöissä vähäiseksi tai puutteelliseksi, ei selvinnyt. Työkalusta luopumisen varsinainen syy ei myöskään selvinnyt, sillä työkalun käytöstä oli yhtiöissä jo vuosia aikaa.

### 5.1 Trimble NIS Kuntoindeksityökalu

Trimble NIS on verkkotietojärjestelmä, joka on suunniteltu sähköyhtiöiden liiketoimintaa varten. Verkkotietojärjestelmä sisältää älykkään verkkomallin komponentti- ja paikatiedot. Ohjelmalla voidaan suorittaa muun muassa verkoston suunnittelua, laskentaa, omaisuudenhallintaa ja kunnossapitoa. (Trimble, 2017).

Kuntoindeksi-työkalun avulla verkkotietojärjestelmässä voidaan yhdistää yksittäisten komponenttien tyyppi- ja kuntotietoja yhdeksi mielivaltaiseksi arvoksi. Tyyppi- eli attribuuttitietoja yleisesti komponenteilla on muun muassa ikä, valmistaja, rakenne, malli ja sijainti. Vastaavasti kuntotietoja, esimerkiksi jakokaapin ulkoinen kunto, pylvään kallistuma tai muuntamon siisteys, tallennetaan komponenteille jakeluverkon kuntotarkastuksilta useita. Kuntotiedoista on muodostettu tarkastuksia varten listat komponenttiluokittain, jossa pyritään huomioimaan komponentin kunto kokonaisvaltaisesti ja riittävän tarkasti. Indeksityökalulla saadaan yhdistettyä kuntotiedot ja attribuutit yhdeksi indeksiksi, jota voidaan hyödyntää verkon elinkaaren hallinnassa, kunnossapidon ja investointien seurannassa ja suunnittelussa.

Työkaluun voidaan mielivaltaisesti määritellä komponenttien lajit ja tyypit, joille indeksia halutaan laskea. Indeksia voidaan laskea aina manuaalisesti sen hetkisillä komponenttien tiedoilla ja viimeisin indeksin arvo tallentuu komponentin tietoihin kuntoindeksin arvoksi. Laskennan jälkeen komponentteja voidaan hakea ja esittää esimerkiksi verkko-



tietojärjestelmän Finder-työkalulla, jolloin saadaan indeksien visuaalinen esitys kartta-pohjalle. Indeksien raportointi ja komponenttikohtainen analysointi voidaan suorittaa verkkotietojärjestelmässä tai erillisessä laskentataulukossa.

## 5.2 Pisteytyksen ja luokittelun laatiminen

Kuntoindeksin pisteytystä laadittaessa hyödynnettiin komponenttien kuntotietoja ja tyyppitietoja tapauskohtaisesti. Tiedoista valittiin käyttöön soveltuvat ja oleelliset tiedot, joista muodostetaan kokonaispistemäärä. Indeksi on luotu jakeluverkon komponenttien kuntohavaintojen ja aiheuttamien kustannusten mukaan. Esimerkiksi merkintäpuutteet, jotka varsinaisesti eivät heikennä komponentin kuntoa, otettiin mukaan indeksiin niiden aiheuttamien kunnossapitokustannusten takia. Komponenttien indeksillä on tarkoitus antaa kuva jakeluverkon kunnosta ja tulevista kunnossapitokustannuksista.

Pisteytyksen pohjana toimii kuntohavaintojen luokittelu niiden tärkeyden mukaisesti kolmeen eri luokkaan. Esimerkin mukaiseen luokitteluun päädyttiin, koska tällöin indeksin pisteissä korostuvat riittävällä tasolla pohjapisteet ja tärkeät havainnot, jotka aiheuttavat vikoja ja suurempia kustannuksia. Pohjapisteiksi kuntohavaintojen lisäksi indekseihin lisättiin komponenttien tyyppitietoja. Näitä ovat muun muassa komponentin ikä ja muut tarpeelliset rakennetiedot. Luokittelu toteutettiin seuraavasti:

Luokka 1, arvo 20 pistettä:

- Havainto ei vaikuta sähkönjakeluun, mutta aiheuttaa kohteessa kunnossapitokustannuksia
- Ei vaikuta komponentin mekaaniseen kuntoon (esim. merkinnät)

Luokka 2, arvo 60 pistettä:

- Havainnosta voi ajan kuluessa kehittyä vika
- Havainto ei aiheuta suoraa vaaraa ulkopuolisille

Luokka 3, arvo 100 pistettä:

- Havainto voi aiheuttaa pitkällä aikavälillä kehittyä viaksi ja aiheuttaa vaaraa ulkopuolisille tai häiriön sähkönjakeluun
- Havainnon korjaaminen on vaikeaa tai hidasta (esim. pylvään oikaisu)

Luokka 4, arvo 200 pistettä:

- Havainto joka aiheuttaa komponentin käytön rajoittamisen tai välittömän tarpeen sen vaihdolle (esim. kiipeämiskielto, korkea lahoisuus)

Luokittelun pisteytys valittiin edellä mainitun mukaisesti, jotta kriittisemmät havainnot saadaan erottumaan massasta paremmin. Pylväiden lahoisuus on merkittävä osuus in-

deksissä, sillä lahoisuus rajoittaa myös muita pylvääseen tehtäviä kunnossapitotoimia. Pahoin lahonneeseen pylvääseen ei voida välttämättä kiivetä tekemään kytkentöjä, eikä sitä voida myöskään suoristaa sen heikon kestävyysvuoksi vaan se olisi pakko vaihtaa uuteen pylvääseen, mistä puolestaan aiheutuu mittavat kustannukset verrattuna muihin kunnossapitotöihin. Pylväiden lahoisuutta ei suoraan käytetä pisteytyksessä vaan siinä sovelletaan pylväisiin asennettavia varoitusnauhoja. Pylväässä voi olla lahoa esimerkiksi 10 mm, mutta pylvään terveen osan halkaisija määrittää kuitenkin sen kunnan ja kestävyysvuoksen. Varoitusnauhoja pylväisiin asennetaan, mikäli niihin kiipeäminen on kielletty tai rajoitettu. Nauhoja voidaan kiinnittää pylvääseen muunkin kuin lahon vuoksi, esimerkiksi halkeaman tai muun vastaavan tekijän vuoksi osoittamaan, että pylväs ei ole kiipeämiskelpoinen. Kyseisessä pisteytyksessä saatiin myös pohjapisteiden osuus kokonaisindeksissä sopivalle tasolle. Jolloin pääosa indeksistä muodostuu havainnoista ja puutteista. Kuntohavaintojen eri arvojen luokittelu on laadittu yhteistyössä Elenian kunnonhallinta-tiimin kunnossapidon suunnittelijoiden kanssa. Komponenttien pisteytys pyritään pitämään yksinkertaisena, jotta indeksien muuttaminen ja työstäminen on myös tulevaisuudessa yksinkertaista. (Niskanen, 2008).

### 5.3 Komponenttien pisteytys

Komponenteille laadittiin yksityiskohtainen pisteytys komponenttilajeittain perustuen tietyn tyyppisten komponenttien tarkastusohjelmaan ja kuntohavaintoihin. Kaikille komponenteille on määritetty tarkastustoimenpiteelle kaikki tarvittavat kuntoluokat joihin jakeluverkon tarkastuksessa tarkastaja ottaa kantaa. Näitä ovat esimerkiksi merkinnot, pylväiden vinous, jakokaapin liitokset ja muuntamoiden pölyisyys. Kuntoluokat luokiteltiin edellä mainitusti kolmeen eri luokkaan niiden tärkeyden mukaan. Pisteytyksessä huomioidaan myös kohteessa korjattavat asiat, mitkä eivät varsinaisesti vaikuta kohteen mekaaniseen kuntoon. Indeksillä pyritään hahmottamaan verkon fyysisen kunnan lisäksi sen aiheuttamia kustannuksia. Esimerkiksi jakokaapin merkinnät eivät vaikuta kohteen fyysiseen kuntoon, mutta aiheuttavat kunnossapitokustannuksia merkintöjen korjauksista.

Iän vaikutus komponentin kuntoon määritettiin Elenian kunnossapitoaineiston perusteella. Kirjallisuudesta löytyy muitakin vaihtoehtoja komponentin iän huomioimiseen. Joidenkin tutkimusten perusteella esimerkiksi pylvään lahoamista tutkimalla on saatu tulokseksi, että pylvään ikä huomioidaan vasta ensimmäisestä lahotarkastuksesta lähtien, eikä lineaarisesti koko elinkaarella. (Heikkilä, 2009).

Komponenttien pisteytyksen perusteella määritellään liikennevalo-periaatteella pisteytyksen rajat, joilla luokitellaan komponentteja eri luokkiin niiden kunnan mukaan. Pisteraajat ja luokitukset jakokaappien indeksin testaukseen on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Jakokaappien indeksien luokittelu

Kuntoluokka	pisteet	väritys
Hyvä	0 - 60	
Kohtalainen	61 - 100	
Huono	101 - 160	
Kriittinen	> 161	

Kuvassa luokitukset on muodostettu esimerkinomaisesti. Luokkien pisterajoja tulee soveltaa verkko massaan ja indeksien vaihteluun, ja siinä tulee huomioida riskienhallinta. Kun komponenttien pisteytykset on luotu verkkotietojärjestelmään, saadaan niiden tarkka jakauma selville. Riippuen sallituista riskeistä, voidaan pisterajat määritellä yhtiön haluamalle tasolle, kuitenkin siten, että muusta massasta poikkeava huonompikuntoinen osa saadaan eriteltyä riittävän selkeästi. Kuntoindeksi-työkalussa tulee komponenttien pisterajoja muokata halutulle tasolle. Pisterajoissa tulee riittävän selkeästi erottua huonompi verkko, jolloin siitä saadaan haluttu tehokkuus irti prosesseihin. Kuitenkin riittävä osa verkosta tulee olla myös hyvää

### 5.3.1 Jakokaapit

Jakokaappien pisteytys laadittiin liitteen 1 mukaisesti perustuen pienjänniteverkon jakokaappien tarkastushavaintoihin. Kunnossapito- ja vikatietojen analysoinnin perusteella jakokaappien indeksiin ei lisätty rakenne- tai tyyppitekijöitä. Myös ikä jätettiin huomioimatta, johtuen jakokaappien kunnossapitokustannusten tasaisesta jakaumasta (kuva 9). Varsinkin uusien komposiittirakenteisten jakokaappien johdosta tulee kuntotarkastusten analyysiä suorittaa useammin, jotta uusien komponenttien mahdolliset tyyppiviat saadaan heti selville ja huomioitua ne indeksissä. Kun indeksiin saadaan kattavasti dataa uudentyyppisestä komponentista, voi pisteytys muuttua huomattavasti alkuperäisestä.

### 5.3.2 Puistomuuntamot

Puistomuuntamoiden kunnossapitotietojen analyysin perusteella ei löydetty indeksissä korostettavia rakenne- tai tyyppitietoja. Ikä puolestaan korreloi selvästi puistomuuntamoiden kunnossapitotarpeissa. Muuntamoiden ikä otettiin lineaarisena pisteytyksenä mukaan indeksiin, jossa yhdestä vuodesta saa yhden pisteen. Esimerkiksi 20 vuotta vanha muuntamo saa 20 pistettä iän perusteella.

### 5.3.3 Pylväät

Indeksiä laadittaessa jakeluverkon pylväille saatiin iän vaikutus näkyville selkeästi. Ikä otettiin muuntamoiden tapaan huomioon pylväillä lineaarisesti. Eli yhdestä ikävuodesta tulee aina yksi piste lisää. Korostettavia rakennetietoja saatiin keskijänniteverkon pyl-

väille koukku- ja puuorsirakenteille, jotka selkeästi muita rakenteita enemmän aiheuttavat kunnossapitokuluja. Näille rakenteille annetaan 100 pistettä indeksiin lisää, jolloin rakenne korostaa muiden kunnossapitohavaintojen ohella indeksiä riittävästi.

## 5.4 Kuntoindeksin käyttö

Kuntoindeksit otetaan käyttöön Trimble NIS -verkkotietojärjestelmässä tekemällä määrittely valmiiksi järjestelmän tuotantokantaan. Työkalua käytetään järjestelmän kunnossapito-osioista. Indeksien laskentaa varten tulee järjestelmässä ladata halutut verkon komponentit, jonka jälkeen valituille komponenteille voidaan laskea indeksi. Kuvassa 28. on esitettynä kuntoindeksi-työkalun pääikkuna.

Kuntoindeksin laskenta on järjestelmälle työlästä, johtuen tietokannan valtavasta koosta. Kuntoindeksiä voidaan yhtä aikaa laskea sadoille tuhansille verkon komponenteille. Toki myös alueellinen pienempi tarkastelu on mahdollista ja järkevää joissain tilanteissa. Kun indeksejä lasketaan koko jakeluverkon komponenteille, on komponentteja pelkästään useita satoja tuhansia, joille kaikille on määriteltä kymmeniä laskutoimituksia. Trimble NIS:in kuntoindeksi-työkalu ei toimi automaattisesti, vaan laskenta tulee käynnistää manuaalisesti halutulle verkon osalle, jolloin indeksien arvot päivittyvät ja jäävät tietokantaan. Kaikille indekseille laaditaan valmiiksi Finder-kyselyitä, joilla indeksien arvoja ja verkon kuntoa saadaan visualisoitua kartalle. Tuloksena saadaan visualisoitua kuntotarkastusten jälkeen verkon kunto ja aiheuttamat kunnossapitokustannukset.

Kuntoindeksi

Nimi: Jakokaappi

Kuvaus: Versio 1

Kuntoindeksitekiä

Yleistiedot

Nimi: LIITOSTEN KUNTO

Attribuutti: LIITOSTEN KUNTO

Kuvaus:

Koodi	Kuvaus	Arvo
0	KUNNOSSA	0.000
1	HUONOKUNTOINEN	60.000
2	RIKKI	100.000
3	KORJATTU	0.000

Laskenta

Laskutoimitus: Ei määritetty

Muuttuja

Arvo: 0.000

Attribuutti:

Puuttuva arvo

Arvo: 0.000

Kunnossapito

Käytä kiireellisyyttä laskennassa: ☐ Laskutoimitus: Ei määritetty

Yhdistä monta arvoa: ☐ Funktio: Ei määritetty

Alkupaiväys:  Loppupäiväys:

Uusi indeksi Lisää taulu... Lisää laji...

Lisää tekijä... Poista

OK Hyväksy Peruuta Ohje

Kuva 28. Kuntoindeksi-työkalu ikkunan näkymä

Esimerkkikuvassa on esitettynä pienjännitekeskusten (jakokaappien) indeksin näkymä. Indeksiiin valitaan kaikki halutut komponenttilajit, joille määritetään kaikki indeksin tekijät, joita ovat muun muassa attribuuttitiedot ja kuvassa näkyvät kuntohavainnot. Indeksille rakennetaan määrittely ja pisteytyksen laskenta valitsemalla kaikki tarvittavat havainnot ja pisteyttämällä ne. Kun kuntoindeksit on määritetty, saadaan indeksin arvot laskettua verkkotietojärjestelmässä valituille komponenteille (kuva 29) valitsemalla halutun kuntoindeksin laskenta.

Nimi	Kuvaus
PJ-pylväät	
KJ-pylväät	
Puistomuunta...	
Jakokaappi	

Laske    Sulje    Ohje

Kuva 29. Kuntoindeksin laskenta

Indeksien kuvauskenttään voidaan lisätä selite indeksin käyttötarkoituksesta, mikäli niitä on useita. Eri komponenteille voitaisiin luoda indeksejä esimerkiksi havaintojen määrän, euromääräisten kustannusten tai muiden tekijöiden mukaan, millä pyrittäisiin kuvaamaan erilaisia asioita. Laskennan jälkeen indeksin arvo tallentuu jokaiselle komponentille kyseisen indeksin arvoksi. Arvoja voidaan visualisoida helposti esimerkiksi Finder-työkalulla. Uusien havaintojen mukaan tarkastusten perusteella uusi laskenta voidaan suorittaa esimerkiksi kerran tai kaksi vuodessa.

## 5.5 Ohjeistuksen laadinta

Kuntoindeksi-työkalua varten laadittiin yhtiön sisäinen ohje, jolla uusi käyttäjä pystyy helposti käyttämään indeksejä, muokkaamaan ja laatimaan niitä. Työkalua ei ole ennen käytetty yhtiössä, joten sen helppokäyttöisyys on merkittävä tekijä käyttöönotossa ja hyödyntämisessä. Myös ohjeistuksen tulee olla selkeä ja yksiselitteinen, jotta työkalun käytössä ei heti törmätä haasteisiin. Uuden työkalun käyttöönotossa tulee kiinnittää huomiota helppokäyttöisyyteen ja nopeuteen. Mikäli työkalu aiheuttaa ponnistuksia käyttäjältä ja sen käyttöön kuluu paljon aikaa, voi työkalun hyödyntäminen jäädä pois, eikä sen käyttö yhtiön prosesseissa ole tehokasta.

Ohjeista tehtiin PowerPoint-esitykset, joissa demonstroidaan yksinkertaisesti indeksin käyttö. Indeksien pisteytyksiin laaditut taulukot toimivat pisteiden pohjana indeksin

luonnissa ja käyttöönottovaiheessa. Mikäli pisteytystä halutaan jostain syystä muuttaa, määritellään vain pisteiden määrä suoraan työkaluun. Kuntoindeksit pyritään luomaan mahdollisimman täydellisiksi Finder-kyselyineen, jotta niiden hyödyntäminen käyttäjälle on nopeaa, tehokasta ja miellyttävää. Tällöin niiden hyödyntäminen sujuu käyttäjältä sujuvasti

## 5.6 Hyödyt ja käyttökohteet

Kuntoindeksi otetaan mukaan yhtiön kunnonhallintaprosesseihin ja verkon kehittämisprosesseihin. Työkalun täysi hyödynnettävyys ja käytettävyys eivät ole vielä selviä sen käyttöönottovaiheessa, mutta tämä toimii ensimmäisenä työkaluna kunnolliseen verkon kunnon seurantaan, joka tulee tulevaisuudessa olemaan yhä isompi osa-alue verkon kunnonhallintaprosessia ja mahdollisesti jopa verkon arvon määrittystä.

Kuntoindeksillä voidaan alkaa seurata kunnossapidon vaikutuksia verkon kuntoon ja kunnon kehitystä. Yleisesti kunnossapidon toimintamalli on ollut hyvin tilauspohjaista, eikä kunnossapitoon sijoitetun budjetin vaikutuksia ole voitu suoranaisesti seurata tai tarkastella. Kuntoindeksillä voidaan raportoida helposti pistemäärien mukaisesti luokiteltujen komponenttien määrää, joka kertoo komponenttien yleiskunnosta. Yksittäisten kuntohavaintojen seuranta ei kuntoindeksi-työkalulla voida tehdä, sillä indeksi perustuu pisteiden summan laskentaan, jossa on mukana kaikki havaintotyytit. Yksittäisten havaintojen seuranta voidaan tehdä tilausraporttien perusteella.

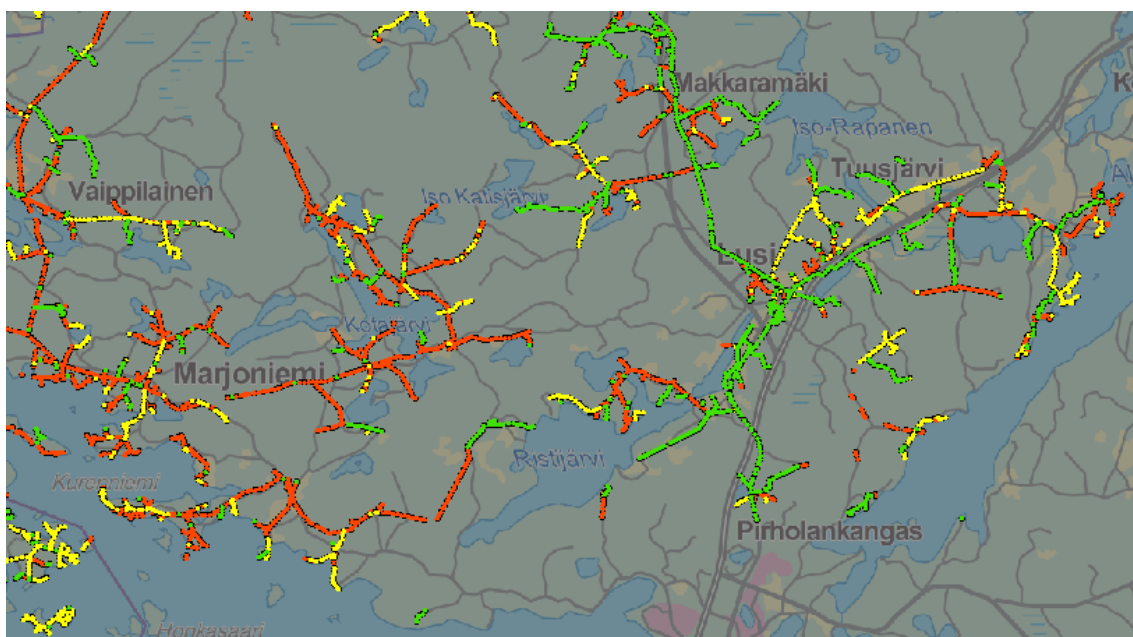
Verkon kunnon kehittyminen on tärkeä osa-alue, varsinkin nyt mittavien maakaapelointi-investointien ohessa, kun verkkoon lisätään mittava määrä uusia komponentteja joka vuosi. Uuden verkon kuntoa on tärkeää pystyä seuraamaan tarkemmin asennuksesta asti, jolloin elinkaarenhallinta on tehokasta. Myös jäljelle jäävän, jo ikääntyneen ilmajohtoverkon kunnon seuranta on tulevaisuuden kannalta tärkeää. Kaikkia ilmajohtoja ainaakaan lähitulevaisuudessa ei saneerata tai maakaapeloida, joten niiden kunto ja turvallisuus on varmistettava ja sitä on pystyttävä seuraamaan tehokkaasti. Indeksillä pyritään ottamaan ensiaskeleita varsinaisessa jakeluverkon kunnon ja kunnossapidon vaikutusten seurannassa. Ennustamalla jakeluverkon kuntoa ja sen kehitystä voidaan saada merkittävää hyötyä suunniteltaessa yhtiön operatiivisia kustannuksia ja kunnossapidon budjettia.

Verkon kunnon alueellinen hahmottaminen ja kunnon visualisointi on oleellinen kehitys kunnonhallinnassa. Kuntoindeksit voidaan visualisoida kätevästi Finder-työkalulla, jolloin kartalle saadaan näkymä verkon kunnosta ja sen aiheuttamista kustannuksista ja toimenpiteistä. Kunnonhallintaprosessissa kuntoindeksi otetaan mukaan kunnossapito-toimenpiteiden ja -alueiden suunnitteluun tarkastelemalla verkon kuntoa alueellisesti. Kuntoindeksin avulla kunnossapitotöitä voidaan priorisoida verkon kunnon mukaan esimerkiksi tilaamalla kaikki merkittävät kunnossapitohavainnot ja alueellistamalla pienemmät kunnossapitotyöt budjetin mukaisesti. Mikäli kunnossapitobudjetilla ohjataan

kunnossapitoon sijoitettavia varoja siten, että kaikkia pienimpiäkin huomautuksia ei verkossa ole välttämätöntä korjata, voidaan indeksillä kohdentaa kunnossapitotyöt, jolloin saadaan riskialttiit alueet hallintaan. Tällä hetkellä kunnossapitotöissä ei ole varsinaista tarvetta priorisoinnille, sillä kaikki kunnossapitohavainnot pyritään korjaamaan verkossa.

Kuntoindeksiä voidaan tarkastella myös komponenttikohtaisesti ajamalla komponenttistat ulos verkkotietojärjestelmästä, jolloin voidaan helpommin tarkastella mahdollisia vika-alttiita komponentteja. Komponentin indeksin arvo kertoo suoraan komponentin yleiskunnosta, jolloin saadaan selville yleisesti huonoimmat komponenttityypit, lajit ja rakenteet. Nykyisin vastaavaa analyysiä pystytään tekemään erillisillä Excel-listoilla kunnossapitotöiden tilauksista ja tarkastuksista.

Kuntoindeksiä visualisoimalla verkkokartalla saadaan helposti esille pylväiden iän lisäksi niiden kunto, jolloin päätöksenteko suunnittelussa saadaan tehokkaammaksi. Indeksillä pyritään saamaan tehokkuutta ja jouhevuutta yhtiön prosesseihin ja sen koestaminen sekä jatkokehitys prosesseja palvelevammaksi ovat erityisen tärkeää tulevaisuudessa. Kuvassa 30 on esitettyä esimerkinnomaisesti keskijännitepylväiden indeksien visualisointi pienelle tarkasteltavalle alueelle.

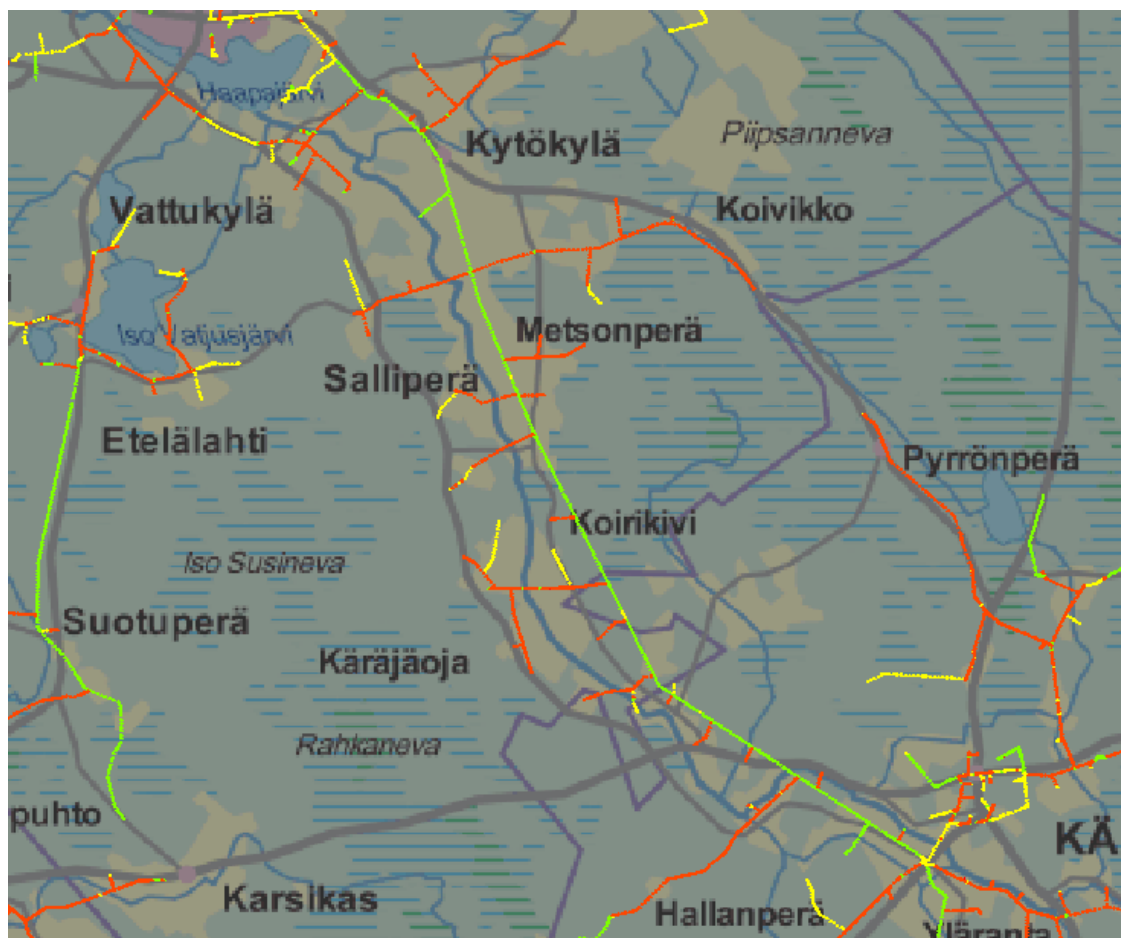


Kuva 30. Keskijännitepylväiden indeksien visualisointi

Kuvassa nähdään selvä alueellinen ero indeksien arvojen väriytyksessä. Mikäli kyseisessä tilanteessa verkon eri osien asiakasmäärät ja siirrettävät tehot ovat lähellä toisiaan, kannattavat maakaapeloinnit keskittää huonompaan eli punaiseen osaan verkkoa. Verkon kunnon havainnointi voi toimia tehokkaasti kunnossapidon ja maakaapelointien suunnittelussa. Kunnossapito- ja investointisuunnittelu tapahtuvat nykyisin itsenäisesti toisistaan erillään. Indeksien avulla voi tulla tilanteita, joissa maakaapelointi-

investointien ja kunnossapidon tavoitteita voidaan yhtenäistää. Esimerkiksi kunnossapidon suunnittelijalta voi lähteä aloite investointisuunnitteluun tarpeellisesta maakaapelointikohteesta. Vastaavasti kunnossapidolle voi tulla tieto alueesta, joka on huonossa kunnossa, mutta jää ilmajohdoksi vielä pitkäksi aikaa johtuen esimerkiksi pienestä asiakasmäärästä, jolloin kunnossapidon tehostaminen voi tulla aiheelliseksi kyseisellä alueella.

Alla kuvassa 31 on esitettynä kunnossapidon näkökulmasta oleellinen kohde, joka saadaan visualisoitua kuntoindekseillä ja täten tuotua esille verkkotietojärjestelmässä. Kuvassa on kartalle piirretty keskijänniteverkon pylväiden indeksit, jossa pääpainona on esimerkinomaisesti pylvään ikä.



Kuva 31. Keskijänniterunkojohdon visualisointi

Kyseisessä tilanteessa ei todennäköisesti alueelle kohdenneta laajamittaisia maakaapelointeja lyhyempiä haarajohtoja varten. Täten kunnossapidon rooli korostuu varsinkin esimerkin kaltaisilla alueilla. Kyseiselle alueelle voidaan suorittaa lentotarkastuksen lisäksi esimerkiksi kävelytarkastus, jossa keskijännitejohdon ja varsinkin pylväiden kunto saadaan tarkemmin kartoitettua.



## 5.7 Jatkokehitys

Jatkokehityksenä kuntoindeksille on sen ottaminen yhtiön prosesseihin mukaan ja sen tarkasteleminen kriittisesti ja rakentavasti. Varsinkin indeksin pisteytysrajat ja luokat voivat vaatia muutoksia ja uudelleenmäärittelyitä tulevaisuudessa, kun työkalua päästään käyttämään kunnolla. Pisterajat tulee määrittää yhtiön riskienhallintapolitiikan mukaisesti ja kunnossapidon kannalta järkevälle tasolle, jotta huonompi osa verkosta saadaan riittävästi korostettua. Työkalun pisteytys ja käytettävyys ovat hyvällä tasolla, eikä niihin tarvita muutoksia tai lisäyksiä. Laskutoimitukset riittävät yksinkertaisen pisteytyksen laatimiseen hyvin.

Tärkein osa uudessa työkalussa on sen testaaminen ja ottaminen käyttöön. Diplomityön aikana uuden verkkotietojärjestelmän version vaihtuessa, ei kuntoindeksiä voitu ottaa käyttöön alkuperäisen suunnitelman mukaan. Käyttöönotto tapahtuu versionvaihdon jälkeen, jolloin valmiiksi luoduilla pisteytyksillä ja luokitteluilla muodostetaan indeksit tietokantaan työn aikana laaditun ohjeistuksen mukaisesti. Kuntoindeksin kehitys tulevaisuudessa automaattiseksi voisi olla järkevää, eli järjestelmä laskisi uuden kuntoindeksin arvon komponentille heti kun sen kuntotietoa muutetaan. Nykyisin kun verkon kuntoa tarkastetaan ja verkon töitä dokumentoidaan massana verkkotietojärjestelmään, ei automaatiolle ole tarvetta, sillä verkon kuntotiedot muuttuvat pääosin massana, iso osa kerralla. Kuntoindeksit voidaan laskea manuaalisesti, esimerkiksi kerran tai kaksi vuodessa, ja saadaan raportoitua verkon indeksit erilliseen taulukkoon. Työ itsessään ei ole niin työllistävää ja harvoin tehtävää, joten automatisointiin ei ainakaan heti tässä vaiheessa ole järkevää panostaa.

Työn aikana heräteltiin ajatusta myös sähköverkon laajamittaisemmasta indeksoinnista, tai toisin sanoen koko verkon kunnon pisteyttämisestä. Tässä voitaisiin pisteyttää sähköverkon kaikki komponentit, joista laskennalla saataisiin koko sähköverkolle muodostettua vertailuarvo. Arvolla voitaisiin seurata koko verkon kehittymistä yhtenä kokonaisuutena, joka tulevaisuudessa voisi olla esimerkiksi regulaation kannustimissa mitattava tekijä. Tällä hetkellä verkon arvo ja kunto muuttuu radikaalisti maakaapelointien myötä, mutta tulevaisuudessa koko verkon pisteyttämisellä voitaisiin seurata verkon kuntoa laajemmin. Tämä toki vaatii, että indeksoinnista jalostetaan ja hienosäädetään työkalu kaikille verkon komponenteille, joka huomioi oleelliset asiat oikealla pisteytyksellä.

## 6. KUNNOSSAPITOPROSESSIN KEHITYS

Tämän diplomityön tulosten perusteella todettiin kunnossapitoprosessissa monia kehityskohteita, joiden avulla pyritään kehittämään prosessia entisestään. Kunnossapitoprosessi on itsessään jo muuttumassa Eleniassa merkittävästi enemmän sähköiseen muotoon muun muassa töiden ja tilausten kannalta. Kunnossapitotarkastusten ja tilausten siirryttyä sähköiseksi pystytään huomiota kiinnittämään enemmän muuhun toimintaan, kuten verkon komponenttien kunnan kehittymiseen ja sen seurantaan. Varsinainen kehitystyö keskittyy pääosin kuntoindeksi-työkaluun ja sen hyödyntämiseen. Kun verkon komponenttien kuntoindeksit ovat käytettävissä, voidaan verkkotietojärjestelmällä sen kehitystä viedä edelleen pidemmälle tukemaan yhtiön muita prosesseja.

Tulevaisuudessa muun kunnossapitoprosessin kehittyessä kuntoindeksiä voidaan soveltaa muihinkin sähköverkon komponentteihin. Hyödyllisiä käyttökohteita olisivat muun muassa kohteet, joissa komponentin visuaalinen kunto ei ole ratkaiseva, vaan komponentin kunto perustuu erilaisiin mittauksiin ja laskelmiin. Tällaisia komponentteja ovat esimerkiksi sähköasemien kytkinlaitteet ja päämuuntajat. Kytkeinlaitteilta mitataan tyypillisesti toimintakertoja ja kosketinpintojen ylimenovastusta, jotka kertovat paljon komponentin fyysisestä kunnosta. Kuntoindeksiä käyttöönotettaessa tällaisten laitteiden kunnossapitodata ei kuitenkaan ole järjestelmässä sähköisessä muodossa, eikä täten ole hyödynnettävissä indeksissä käyttöönottoaiheessa. Näissä kohteissa kuitenkin kuntoindeksillä voitaisiin priorisoida komponenttien kunnossapitotarpeita.

Työkalusta voidaan saada hyötyä myös yhtiön muihin prosesseihin kunnossapidon lisäksi. Koska kuntoindeksillä voidaan summata kohteen kunnan eri pisteitä tai tarkastella vain esimerkiksi tiettyjä kohtia, voidaan sillä seurata esimerkiksi verkonrakennustyön laatua ja komponenttien elinikää. Luvussa 4.4.1, jossa käsiteltiin pienjännitejakokaappien havaintoja, todettiin suurimman osan kustannuksista muodostuvan jakokaappien oikaisuksista. Kuntoindeksillä, joka huomioi esimerkiksi todennäköisesti asennuksesta johtuvat kuntohavainnot, voitaisiin pisteyttää urakoitsijoiden työnlaatua myös pidemmällä aikavälillä, kuin vain töiden vastaanottovaiheessa.

Kun kuntoindeksit on käyttöönotettu, voidaan verkkotietojärjestelmän tietokannassa muodostaa laskentamalleja, joilla indeksien arvoa voidaan hyödyntää yksittäisiä komponentteja laajemmin. Varsinkin tällä ominaisuudella voidaan saada merkittävää hyötyä muun muassa verkon investointisuunnitteluun. Laskennassa voidaan yksittäisten komponenttien arvoja summata isommille osille verkkoa, joka kattaa useita komponentteja. Tällainen kohde voisi olla esimerkiksi ilmajohtoverkon johto-osa verkkotietojärjestelmässä. Johto-osa käsittää useita pylväitä ja johtoalkioita, jotka ovat varsinaiset johdon osia, esimerkiksi pylväsvälejä. Edelleen johto-osista voidaan summata koko sähköase-

man lähdölle pisteet verkon kunnosta ja iästä. Tätä voidaan verrata syötettävän tehon ja asiakasmäärän mukaan toisiin lähtöihin, jolloin saadaan kannattavin päätös verkon investoinnille. Diplomityön aikana tämä ei kuitenkaan ole vielä tehtävissä, sillä indeksien tulee olla luotuna ja käytössä laskennan muodostamista varten.

Kuntoindeksiä voidaan hyödyntää myös jakeluverkon investointien suunnittelussa, jossa määritellään ja suunnitellaan keskijänniteverkkoon kohdistuvat maakaapelointi-investoinnit. Investoinnit kohdennetaan pääosin keskijänniteverkkoon, mikä vaikuttaa eniten toimitusvarmuuden parantamiseen. Pienjänniteverkkoa kaapeloidaan keskijänniteverkon ohessa, siltä osin miten se on kannattavaa ja toteutettavissa järkevästi. Pääpaino toimitusvarmuuden parantamiseksi ovat keskijänniteverkossa, joten pienjänniteverkon kaapelointiin tulee olla riittävät perusteet (esim. erittäin huono kunto tai korkea ikä). Täten verkon kehityksessä suurimpana huomiona verkon asiakasmäärän ja siirrettävän tehon lisäksi tulee keskijänniteverkon pylväiden kunto ja ikä. Ympäröivän pienjänniteverkon kuntoa ei nykyisin pystytä arvioimaan verkkotietojärjestelmästä käsin. Myös tähän kuntoindeksi-työkalusta voi olla suuri hyöty.

## 7. YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli tarkastella Elenian jakeluverkon kunnossapitoprosessin ja sen eri toimien riittävyyttä. Tarkoituksena oli pyrkiä löytämään toiminnasta kehitystarpeita ja arvioida käytettyjä menetelmiä sähköverkon kunnossapito-ohjelman kannalta. Työn aihepiiri rajattiin pien- ja keskijänniteverkkoon, pois lukien maakaapelit. Eli työssä keskityttiin ilmalinjojen, jakokaappien ja muuntamoiden kunnossapitoon. Toisena tavoitteena työssä oli määritellä yhtiössä verkkotietojärjestelmässä käyttöön otettava indeksointityökalu ja yleinen ajattelutapa, jolla pyritään luomaan parempaa kuvaa verkon kunnosta. Työkalulla tarkoituksena on ottaa myös ensiaskleet verkon kunnan seurannalle, jossa seurataan ja raportoidaan verkon kunnan kehittymistä ja kunnossapitoon budjetoitujen varojen vaikutuksia verkon kuntoon.

Sähköverkon kunto- ja vikatietojen analysoinnissa pyrittiin arvioimaan Elenian kunnossapidon dokumentoinnin ja kunnossapito-ohjelman riittävyyttä. Elenia on muodostunut Vattenfallin myytyä sähköverkko- ja lämpöliiketoiminnasta, joka puolestaan useista pienemmistä kunnallisista paikallisista sähköverkkoyhtiöistä aikanaan. Tietojärjestelmät, käytännöt ja toiminnot ovat olleen erilaisia monessa yhtiössä, joten täydellistä tarkastushistoriaa verkon komponenteilta ei ole saatavilla. Tutkimuksessa saatiin selville huomionarvoisia seikkoja liittyen sähköverkon kunnossapitohavaintoihin ja kunnossapitokustannuksiin, sekä dokumentointiin. Jakokaappien kunnossapidossa todettiin yllättävästi, että kaappien kunnossapitokustannukset eivät juuri vaihtele iän, tai muunkaan tekijän mukaan. Toisin kuin yleisen oletuksen mukaan, jossa vanhempi komponentti aiheuttaa enemmän kunnossapitokustannuksia. Tämä johtuu analyysissä todetuista erittäin suurista kustannuksista, jotka aiheutuvat jakokaappien oikaisuksista. Jopa 61 % jakokaappien kunnossapitokustannuksista aiheutuu suoristuksista, riippumatta tyypistä, mallista tai iästä. Kustannusten puolestaan voidaan olettaa johtuvan pääosin virheellisestä tai huolimattomasta asennuksesta. Tässä tärkeänä parannuksena olisi oikean ja huolellisen asennustavan vieminen urakoitsijoiden ja edelleen maanrakentajien toimintaan ja ajattelutapaan sähköverkon rakennustöissä. Muuntamoiden kunnossapito- ja vikatietoja tutkittaessa ei saatu selville mitään massasta poikkeavaa seikkaa tai sellaista seikkaa, mihin voitaisiin toiminnalla vaikuttaa. Keskijänniteverkon pylväiden kunnossapitoa tutkittaessa saatiin selville muutama kustannuksiltaan kalliimpi rakennetyyppi, mikä vahvisti jo ennestään olemassa olevaa käsitystä kyseisistä rakenteista. Pienjänniteverkon pylväillä puolestaan ei saatu muuta tutkittua kuin iän vaikutus kunnossapitokustannuksiin. Yleisesti jakeluverkolle nykyisen kunnossapito-ohjelman mukaisen kunnossapidon todettiin olevan riittävällä tasolla, sillä kiireellisempiä puutteita todetaan verkossa olevan vähän, eikä kunnossapidossa synny jättämää kunnossapitohavaintojen korjaami-

seen. Turvallisuutta ja käyttövarmuutta koskevat havainnot korjataan vikatöinä heti havainnon jälkeen.

Kunnossapitoaineistolla löydettiin huomionarvoisia seikkoja jakeluverkon kunnosta. Monessa tilanteessa kuitenkin tarkempi syy korkeille kustannuksille tai muille poikkeamille jäi selvittämättä, johtuen aineiston rajallisuudesta. Dokumentoinnin tärkeys korostuu kaikessa toiminnassa, jossa pyritään löytämään tilastosta poikkeavia tapauksia. Verkkomassasta tulisi olla käytettävissä erittäin paljon dataa useilta eri tarkastuskierroilta, jotta kunnollinen vertailu olisi tehokasta. Myös verkon dokumentaation puutteet voivat rajoittaa tulosten luotettavuutta. Verkon dokumentointia päivitetään ja korjataan tarkastusten yhteydessä jatkuvasti. Tämän diplomityön kaltainen kuntotietojen analysointi tulisi suorittaa määräjain myös tulevaisuudessa.

Sähköverkon kunnossapitotarkastuksissa kerätään kaikki oleellinen tieto verkon komponenteista. Tarkastuksilla voitaisiin kerätä yksityiskohtaisempaa tietoa komponenteista, mutta siitä saatavien hyötyjen arvioiminen on erittäin haastavaa. Laajempi ja yksityiskohtaisempi kuntotarkastus toisi myös lisää kustannuksia tilaajaosapuolelle, isomman työkuorman vaativien tarkastusten takia. Tarkemmalla tarkastuksella ja yksityiskohtaisemmalla dokumentoinnilla voitaisiin saada yksittäisistä vikaherkemmistä komponenteista tietoa, mutta tästä ei todettu olevan suoranaisia hyötyjä. Nykyisillä jakeluverkon tarkastuksilla huomioidaan komponenttien kunto sähkönjakelun ja turvallisuuden kannalta varsin hyvin, koska tarkastustuloksissa käydään komponenttien pääosat kattavasti läpi. Kuntotietoja analysoimalla ja tarkastelemalla päästään käsiksi huonoihin komponentteihin, jolloin voidaan ryhtyä korjaaviin toimenpiteisiin.

Vikatietojen hyödyntäminen ei nykyisellä dokumentoinnilla onnistu tehokkaasti prosessin tukena. Aihe on haastava, sillä keskeytyksen erityiskohteen eli yksittäisen komponentin liittäminen käytöntukijärjestelmän keskeytykselle täytyy usein tehdä jälkikäteen ja käytönvalvojan toimesta, muiden töiden ohella. Tämä aiheuttaa haasteita, koska keskeytyksiä tehdään paljon ja keskeytyksen täydellinen dokumentointi vaatii aikaa. Vian syy, kohde ja kuvaus tulevat myös lähes aina maastosta urakoitsijalta, joka edelleen aiheuttaa haasteita erityiskohteen ja vian todellisen syyn ja aiheuttajan kirjaamiseen. Keskeytysten ja komponenttivaurioiden dokumentointiin tulee kiinnittää huomiota, jotta tulevaisuudessa vikaantuvien komponenttien analysointi ja seuranta onnistuu tehokkaasti. Vikaprosessin toiminta ei sinällään lukeudu mukaan tämän työn aiheisiin, mutta sitä arvioitiin työn ohella, lähinnä dokumentoinnin näkökulmasta tarkasteltaessa komponentteja. Tulevaisuudessa tulisi kiinnittää huomiota dokumentoinnin oikeellisuuteen ja tehokkuuteen. Dokumentointi voitaisiin teettää esimerkiksi suoraan urakoitsijalla etäkäytettävän mobiilijärjestelmän avulla, henkilöllä joka käytännön viankorjauksenkin maastossa tekee. Vikatietojen keräys ja mahdollisten vikaherkkien komponenttien selvittäminen olisi ensisijaisen tärkeää komponenttien elinkaarenhallinnan kannalta.

Verkkotietojärjestelmän kuntoindeksi-työkalun määrittely tehtiin valmiiksi tulevaa käyttöönottoa varten versionvaihdon yhteydessä. Työkalua varten määritettiin työkalun pisteytysjärjestelmä, toimintamalli sen hyödyntämiselle käyttöönotossa sekä jatkokehitys yhtiön prosessien tueksi. Kuntoindeksin koestamista ja hienosäätöä ei tehty, mutta se tulee olemaan vain pientä muokkausta työkalun käytön ohessa. Työssä määriteltiin yhteensä neljä kuntoindeksiä pien- ja keskijännitekomponenteille ja niiden käyttökohteet. Tulevaisuudessa indeksiä voidaan hyödyntää muun muassa sähköasemien komponenteissa, kun niiden huolto ja mittausdata saadaan integroitua verkkotietojärjestelmään. Indeksityökalu itsessään ei tässä vaiheessa tarvitse varsinaista kehitystä, johtuen sen yksinkertaisesta, mutta täysin riittävästä rakenteesta ja ominaisuuksista. Kuntoindeksistä saatiin muodostettua hyvä työkalu, jolla yhtiössä pystytään ottamaan kunnossapidon seuranta osaksi operatiivista toimintaa. Työssä käsiteltiin kunnonhallinnan ja etenkin kuntoindeksi-työkalun tavoitteita ja kehitystoimenpiteitä. Nykyisin suurin osa sähköverkon vioista ja korjaustarpeista aiheutuu ulkoisista tekijöistä, mutta verkon maakaapeloituaessa säävarmaksi, tulee kunnossapidon rooli ja komponenttien kunnon seuranta olennaisemmaksi osaksi operatiivista toimintaa.

Työn tulosten hyödyntäminen ei välttämättä suoranaisesti ole mahdollista muissa verkkoyhtiöissä, johtuen mahdollisesti erilaisesta sähköverkon rakenteesta, ikäjakaumasta ja komponenteista. Työn kaltainen analyysi on silti erittäin suotavaa verkkoyhtiöille ja myös muille toimijoille, jotka hallitsevat mittavaa omaisuusmassaa. Työn tulokset ja rakenne voivat toimia hyvänä lähtökohtana kunnossapidon kriittiselle arvioimiselle.

## 8. LÄHTEET

Elenia Oy. (2014a). *OmaisuuDENhallintapolitiikka*. Julkinen ohjeistus. Viitattu 23. toukokuuta 2017. Saatavilla: <https://www.elenia.fi/sites/www.elenia.fi/files/OmaisuuDENhallintapolitiikka%2015072014.pdf>

Elenia Oy. (2014b). *Kunnonhallintastrategia ja kunnossapito-ohjelma*. Yhtiön sisäinen ohjeistus. Ei julkisesti saatavilla.

Elenia Oy. *Sähkön laatu ja toimitusvarmuus*. Viitattu 4. huhtikuuta 2017 osoitteesta [http://www.elenia.fi/sahko/laatu\\_ja\\_toimitusvarmuus](http://www.elenia.fi/sahko/laatu_ja_toimitusvarmuus)

Energiavirasto. (2015). *Valvontamenetelmät neljännellä 1.1.2016 – 31.12.2019 ja viidennellä 1.1.2020 – 31.12.2023 valvontajaksolla*. Helsinki. Saatavilla: [http://www.energiavirasto.fi/documents/10179/0/Liite\\_2\\_Valvontamenetelm%C3%A4t\\_S%C3%A4hk%C3%B6jakelu\\_luonnos.pdf/321fee5c-f449-4bc5-bae7-d1fc70b69da9](http://www.energiavirasto.fi/documents/10179/0/Liite_2_Valvontamenetelm%C3%A4t_S%C3%A4hk%C3%B6jakelu_luonnos.pdf/321fee5c-f449-4bc5-bae7-d1fc70b69da9)

Energiavirasto. (2017). *Sähköverkon haltijat*. Viitattu 9. maaliskuuta 2017. Saatavilla: <https://www.energiavirasto.fi/sahkoverkon-haltijat>

Hallituksen esitys. (2013). *HE 20/2013 Hallituksen esitys eduskunnalle sähkö- ja maakaasumarkkinoita koskevaksi lainsäädännöksi*. Helsinki: Finlex. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/esitykset/he/2013/20130020>

Heikkilä, P. (2009). *Sähköverkon kunnossapitojärjestelmän kehitys*. Saatavissa: [https://webhotel2.tut.fi/units/set/opetus/pdf%20julkiset%20dtyot/Heikkila\\_Paula\\_julk.pdf](https://webhotel2.tut.fi/units/set/opetus/pdf%20julkiset%20dtyot/Heikkila_Paula_julk.pdf)

Honkapuro, S.;Mäkinen, A.;Tahvanainen, K.;Verho, P.;Viljanen, S.;Järventausta, P.;ym. (2007). *Keskeytystunnuslukujen referenssiarvojen määrittäminen*. Saatavissa: [https://www.energiavirasto.fi/documents/10179/0/Lahde\\_33\\_LUTTUT\\_Keskeytystunnusluvut\\_2007.pdf/c530af0b-271f-4038-b773-ec135c6b5abb](https://www.energiavirasto.fi/documents/10179/0/Lahde_33_LUTTUT_Keskeytystunnusluvut_2007.pdf/c530af0b-271f-4038-b773-ec135c6b5abb)

Institute of asset management, P. (2008). *PAS 55 Part 1: Specification for the optimized management of physical assets*. Ei julkisesti saatavilla.

Järviö, J. (2006). *Kunnossapito*. Helsinki: KP-Media Oy.

Järviö, J.;Piispa, T.;Parantainen, T.;& Åstrom, T. (2007). *Kunnossapito*. Helsinki: KP-Media Oy.

Kivinen, J. (2009). *Sähkönsiirtoyritysten kunnossapidon taloudellinen malli*. Mikkeli. Saatavissa: <https://www.doria.fi/xmlui/handle/10024/47334>

Kylliäinen, V.; Laaksonen, L.; & Viitasaari, O. (2011). *Asset productivity management*. Promaint. Saatavissa: [https://www.fortum.com/countries/fi/SiteCollectionDocuments/-Asiantuntijapalvelut/Promaint\\_osa2\\_k%C3%A4ytett%C3%A4vyys\\_kunto\\_elinik%C3%A4.pdf](https://www.fortum.com/countries/fi/SiteCollectionDocuments/-Asiantuntijapalvelut/Promaint_osa2_k%C3%A4ytett%C3%A4vyys_kunto_elinik%C3%A4.pdf)

Lakervi, E.; & Partanen, J. (2009). *Sähkönjakelutekniikka*. 2. Painos. Helsinki: Otatieto.

Laki sähkö- ja maakaasumarkkinoiden valvonnasta. L590/2013, (2013). Saatavilla: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130590>.

Lepistö, J. (2012). *Verkon luotettavuusmallin kehittäminen kunnossapito-ohjelman tueksi*. Tampere. Saatavissa: <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/handle/123456789/21510>

Niskanen, E. (2008) *Kuntoindeksityökalun käyttöönotto ja kehitys Kainuun sähköverkko Oy:n tarpeisiin*

Päivinen, R. (2015). *Sähkörüippuvainen Suomi*. Fingrid. Saatavissa: <https://www.slideshare.net/Fingrid/shkriippuvainen-suomi-esitys-reima-pivinen>

Sener. (1997). *Verkostosuositus TA 1:97 Verkonhaltijan toimesta suoritettavat tarkastukset*. Helsinki.

Suomen Standardisoimisliitto ry. (2001). *SFS-EN 13306 Kunnossapidon terminologia*. Helsinki.

Sähkömarkkinalaki. L 588/2013, (2013). Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/-2013/20130588>

Sähköturvallisuuslaki. L 1135/2016, (2016). Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161135?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=s%C3%A4hk%C3%B6turvallisuuslaki>

Trimble, 2017. *Trimble NIS*, verkkosivusto. viitattu 2. Lokakuuta 2017. Saatavilla: <http://utilities.tri-mble.fi/trimble-nis-sahkoverkoille.html>



## LIITE 1: JAKOKAAPPIEN INDEKSIEN PISTEYTYS

TOIMENPIDE	OSA-ALUE	HAVAINTO	PISTEET
	Valmistaja	Valmistaja	0
	Valmistaja	Tyyppi	0
	Valmistaja	Ikä	0
Jakokaappitarkastus	Tyyppi	Kunnossa	0
Jakokaappitarkastus	JK kulkutie	Ympäristön raivaus	20
Jakokaappitarkastus	JK kulkutie	Huomautettava	20
Jakokaappitarkastus	JK kulkutie	Kulku estetty	20
Jakokaappitarkastus	JK ulkoinen kunto	Kunnossa	0
Jakokaappitarkastus	JK ulkoinen kunto	Hieman kallelaan	60
Jakokaappitarkastus	JK ulkoinen kunto	Oikaistava	100
Jakokaappitarkastus	JK ulkoinen kunto	Muu huomio	20
Jakokaappitarkastus	JK perustus ja täyttö	Kunnossa	0
Jakokaappitarkastus	JK perustus ja täyttö	Maantäyttö vajaa	20
Jakokaappitarkastus	JK ulkopinta	Siisti	0
Jakokaappitarkastus	JK ulkopinta	Töhritty	20
Jakokaappitarkastus	JK ulkopinta	Ruosteinen	20
Jakokaappitarkastus	JK ulkopinta	Rikki	100
Jakokaappitarkastus	Aurausmerkintä	Kunnossa	0
Jakokaappitarkastus	Aurausmerkintä	Puuttuu	20
Jakokaappitarkastus	Aurausmerkintä	Ei kuulu rakenteeseen	0
Jakokaappitarkastus	JK merkinnät tunnus	Kunnossa	0
Jakokaappitarkastus	JK merkinnät tunnus	Puutteellinen	20
Jakokaappitarkastus	JK Lukitus ja oven toiminta	Kunnossa	0
Jakokaappitarkastus	JK Lukitus ja oven toiminta	Huonokuntoinen	60
Jakokaappitarkastus	JK Lukitus ja oven toiminta	Rikki	100
Jakokaappitarkastus	PJ merkinnät lähtönume- rot	Kunnossa	0
Jakokaappitarkastus	PJ merkinnät lähtönume- rot	Puutteellinen	20
Jakokaappitarkastus	PJ merkinnät lähtöosoit- teet	Kunnossa	0
Jakokaappitarkastus	PJ merkinnät lähtöosoit- teet	Puutteellinen	20
Jakokaappitarkastus	PJ merkinnät sulakekoko	Kunnossa	0
Jakokaappitarkastus	PJ merkinnät sulakekoko	Puutteellinen	20
Jakokaappitarkastus	Käytetty sulakekoko (PJ)	Oikea sulakekoko	0
Jakokaappitarkastus	Käytetty sulakekoko (PJ)	Liian pieni sulakekoko	60
Jakokaappitarkastus	Käytetty sulakekoko (PJ)	Liian iso sulakekoko	100
Jakokaappitarkastus	Sisäpuolen siisteys	Kunnossa	0
Jakokaappitarkastus	Sisäpuolen siisteys	Puhdistettava	20
Jakokaappitarkastus	Sisäpuolen siisteys	Kasvustoa	60
Jakokaappitarkastus	Virtakiskot	Kunnossa	0
Jakokaappitarkastus	Virtakiskot	Huonokuntoinen	60
Jakokaappitarkastus	Virtakiskot	Rikki	100
Jakokaappitarkastus	Varokekytkimet ja alustat	Kunnossa	0

Jakokaappitarkastus	Varokekytkimet ja alustat	Huonokuntoinen	60
Jakokaappitarkastus	Varokekytkimet ja alustat	Rikki	100
Jakokaappitarkastus	Varokekytkimet ja alustat	Ei kuulu rakenteeseen	0
Jakokaappitarkastus	PJ liitosten kunto	Kunnossa	0
Jakokaappitarkastus	PJ liitosten kunto	Huonokuntoinen	60
Jakokaappitarkastus	PJ liitosten kunto	Rikki	100
Jakokaappitarkastus	PJ liitosten kunto	Suojakotelo puuttuu	20
Jakokaappitarkastus	PJ Etäisyydet	Kunnossa	0
Jakokaappitarkastus	PJ Etäisyydet	Riittämättömät turvaetäisyydet	20
Jakokaappitarkastus	PJ Etäisyydet	Puutteellinen suojaus	20
Jakokaappitarkastus	PJ Kaapelin kiinnitys	Kunnossa	0
Jakokaappitarkastus	PJ Kaapelin kiinnitys	Puutteellinen	60
Jakokaappitarkastus	PJ Kaapelin vaippa	Kunnossa	0
Jakokaappitarkastus	PJ Kaapelin vaippa	Huonokuntoinen	20
Jakokaappitarkastus	PJ Kaapelin vaippa	Rikki	60
Jakokaappitarkastus	JK Maadoitukset	Kunnossa	0
Jakokaappitarkastus	JK Maadoitukset	Huonokuntoinen	20
Jakokaappitarkastus	JK Maadoitukset	Rikki	100
Jakokaappitarkastus	PJ päätteet	Kunnossa	0
Jakokaappitarkastus	PJ päätteet	Rikki	60
Jakokaappitarkastus	Jakokaapin yleiskunto		0
Jakokaappitarkastus	Jakokaapin yleiskunto	Korjaus mahd pian	100
Jakokaappitarkastus	Jakokaapin yleiskunto	Korjaus vuoden kuluessa	60
Jakokaappitarkastus	Jakokaapin yleiskunto	Korjaus ennen seur tarkastus-	
Jakokaappitarkastus	Jakokaapin yleiskunto	ta	20
Jakokaappitarkastus	Jakokaapin yleiskunto	Kunnossa	0